

**Zum Einfluss der Bestandesdichte, Schwefeldüngung und
Trocknungsverfahren auf den Glucotropaeolingehalt in
Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus*)**

Von der Fakultät für Lebenswissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades einer
Doktorin der Naturwissenschaften

(Dr. rer. nat.)

genehmigte

D i s s e r t a t i o n

von Juliane Thiele
aus Berlin

1. Referent: apl. Professor Dr. Dr. Ewald Schnug
2. Referent: apl. Professor Dr. Dirk Selmar
3. Referent: Professor Dr. Ludger Beerhues
4. Referent: Professor Dr. R. Lieberei
eingereicht am: 28.01.2008
mündliche Prüfung (Disputation) am : 14.08.2008

Druckjahr 2008

Vorveröffentlichungen der Dissertation

Teilergebnisse aus dieser Arbeit wurden mit Genehmigung der Fakultät für Lebenswissenschaften, vertreten durch den Mentor der Arbeit, in folgenden Beiträgen vorab veröffentlicht:

Publikationen

Kleinwächter M, Kramer D, Selmar D, Thiele J, Bloem E, Haneklaus S, Schnug E (2007) Glucosinolat-reiche Kapuzinerkresse in der landwirtschaftlichen Nutzung: Entwicklung von *in vitro*-Vermehrungsverfahren zur Herstellung großer Mengen genetisch identischer *Tropaeolum majus*-Pflanzen mit hohem Gehalt an Glucosinolaten“ Schlussbericht des FNR FV: 22018101

Tagungsbeiträge

Kleinwächter M, Thiele J, Bloem E, Haneklaus S, Schnug E and Selmar D (2006) Variability of glucosinolate content and myrosinase activity in the medicinal plant *Tropaeolum majus* (lecture) The First International Conference on Glucosinolates, Jena, (T 42)

Bloem E, Haneklaus S, Thiele J, Kleinwächter M, Selmar D and Schnug E (2006) Influence of cultivation and post-harvest treatments on the glucotropaeolin content of *Tropaeolum majus* (poster) The First International Conference on Glucosinolates, Jena, (P 36)

Abkürzungsverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Abbildungen und Tabellen im Anhang	IX
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Kenntnisstand.....	4
2.1 Glucosinolate	4
2.2 Kapuzinerkresse.....	9
2.3 Einflüsse auf den Glucotropaeolingehalt von Pflanze und Erntegut	13
3 Material und Methoden	20
3.1 Feldversuche	20
3.2 Probennahme und -aufbereitung.....	24
3.3 Variation der Versuchsparameter	25
3.4 Trocknungsverfahren.....	27
3.4.1 Gefriertrocknung	27
3.4.2 Frischlufттrocknung im Trockenschrank	27
3.4.3 Hordentrocknung	28
3.4.4 Kondentrocknung.....	29
3.4.5 Mikrowellentrocknung	29
3.4.6 Vakuumtrocknung	30
3.4.7 Mikrowellenvakuumtrocknung	30
3.5 Chemische Analysen	32
3.5.1 Schwefel-Analyse.....	32
3.5.2 Glucotropaeolin-Analyse.....	33
3.5.3 Verfahren der Qualitätssicherung bei der Glucotropaeolinbestimmung	36
3.5.4 Herstellung eines GTL-Konzentrates	37
3.5.5 γ-Aminobuttersäure-Analyse.....	38
3.6 Statistische Auswertung	38
4 Ergebnisse	39
4.1 Einfluss unterschiedlicher Anbaubedingungen	39
4.1.1 Schwefeldüngung	39
4.1.2 Bestandesdichte	41
4.2 Einfluss verschiedener Versuchsbedingungen	46
4.2.1 Lagerungsdauer	46
4.2.2 Trocknungstemperatur.....	47
4.3 Variabilität des Glucotropaeolingehaltes in Kapuzinerkresse.....	48
4.3.1 GTL-Gehalte in den Pflanzenorganen.....	48
4.3.2 Genotypische Unterschiede	51
4.3.3 Vergleich der Blattgrößen von Kapuzinerkresse.....	55
4.4 Anreicherung von Glucotropaeolin durch Extraktion	58
4.5 Einfluss verschiedener Trocknungsverfahren	59
4.5.1 Einfluss verschiedener Trocknungsverfahren auf den GTL-Gehalt.....	59
4.5.2 Einfluss verschiedener Trocknungsverfahren auf den GABA-Gehalt	66
4.6 Variabilität und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse	67
5 Diskussion.....	70

5.1	Gewinnung des Frischmaterials: Die Bedeutung des Anbaus für die Höhe des GTL-Gehaltes in der Kapuzinerkresse	70
5.1.1	Bewertung des Einflusses der Schwefeldüngung auf den GTL-Gehalt der Kapuzinerkresse.....	70
5.1.2	Bedeutung der Bestandesdichte für die landwirtschaftliche Produktion der Kapuzinerkresse.....	72
5.1.3	Bedeutung der Sortenwahl und der genotypische Einfluss auf den GTL-Gehalt.....	73
5.2	Maßnahmen zum Erhalt des GTL-Gehaltes bei Ernte, Transport und Lagerung.....	74
5.2.1	Erntebedingungen für einen optimalen GTL-Gehalt.....	74
5.2.2	Notwendigkeit eines verlustarmen Transportes des Erntegutes	76
5.2.3	Bedeutung einer behutsamen Lagerung des Erntegutes	77
5.2.4	Wahl der Pflanzenorgane und die Auswirkung auf die Qualität des Erntegutes.....	78
5.2.5	Einfluss von Blattfläche und Blattalter auf ihren GTL-Gehalt.....	78
5.3	Gewinnung des Trockenmaterials: Die Bedeutung der Trocknungstechnik für die Höhe des GTL-Gehaltes in der Kapuzinerkresse	79
5.4	Ökonomische Aspekte von Anbau, Ernte und Weiterverarbeitung von Kapuzinerkresse.....	93
5.5	Ausblick.....	97
6	Zusammenfassung	99
7	Summary	102
8	Literatur	104
9	Anhang.....	123
	Danksagung.....	151

Parabase

Freudig war vor vielen Jahren
Eifrig so der Geist bestrebt,
Zu erforschen, zu erfahren,
Wie Natur im Schaffen lebt.
Und es ist das ewig Eine,
Das sich vielfach offenbart.
Klein das Große, groß das Kleine,
Alles nach der eignen Art.
Immer wechselnd, fest sich haltend,
Nah und fern und fern und nah,
So gestaltend, umgestaltend -
Zum Erstaunen bin ich da.

J. W. v. Goethe
(1766 – 1832)

Abkürzungsverzeichnis

Es gelten die Konventionen des *Système International d'Unités* (SI-Einheiten). Die Einheiten und Abkürzungen werden daher an dieser Stelle nicht expliziert aufgeführt.

Akh/ha	Arbeitskraftstunden pro Hektar
FM	Frischmasse
GABA	γ -Aminobuttersäure (γ -Aminobutyric acid)
GD ₅ %	Grenzdifferenz (5 %)
GMG	Gesundheitssystem-Modernisierungsgesetz
GTL	Glucotropaeolin
HPLC	Hochleistungsflüssigchromatographie (High performance liquid chromatography)
rpm	Umdrehungen pro min (Rotations per min)
RT	Retentionszeit
SM	Saatmischung
SD	Standardabweichung (Standard derivation)
TM	Trockenmasse
w/v	Gewicht/Volumen

Abkürzung der Trocknungstechniken:

GF	Schockgefrieren in flüssigem N ₂ und anschließende Gefriertrocknung
HTa	einfache Hordentrocknung (50 °C)
HTb	verbesserte Hordentrocknung
KTa	Kondenstrocknung (40 °C) mit fixierten Blättern
KTb	Kondenstrocknung (40 °C) mit Papiertüte
KTc	Kondenstrocknung (40 °C) mit Wäschebeutel
MW	Mikrowelle (1000 W)
MWVT	Mikrowellenvakuumtrocknung
TS	Trockenschrank (40 °C, Frischluftzufuhr)
VT	Vakuumtrocknung (< 300 hPa, 40 °C)

Abkürzung der Pflanzenklone FL37, BG8, BG26:

Beschreibung des Standortes der Pflanzen im Screening
(Kleinwächter et al. 2007):

FL	Freiland Botanisches Institut, Mendelssohnstraße 4, 38106 Braunschweig
BG	Versuchsfläche Botanischer Garten, Humboldtstraße 1, 38106 Braunschweig

Die Nummern 8, 26 und 37 stammen von den Bezeichnungen der GTL-reichen Mutterpflanzen aus dem Screening.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: Gemeinsame Grundstruktur der Glucosinolate.....	4
Abb. 2-2: Kristallstruktur der glycosylierten Myrosinase.....	6
Abb. 2-3: Abbaureaktion von Glucosinolaten.....	7
Abb. 2-4: Kapuzinerkresse.....	9
Abb. 2-5: Vorkommen von Antibiotikabildnern im Pflanzen- und Tierreich.....	11
Abb. 2-6: Darstellung der Verteilung von Glucosinolaten, L-Ascorbinsäure (Effektor der Myrosinase) und Myrosinase in Parenchymzellen der Meerrettichwurzel.....	15
Abb. 2-7: Mikroskopischer Querschnitt eines Kapuzinerkresseblattes (links) und mikroskopischer Querschnitt eines Kapuzinerkressesamens (rechts).....	16
Abb. 2-8: 1) Querschnitt eines Kapuzinerkresseblattes 2) Stängelquerschnitt der Kapuzinerkresse.....	16
Abb. 2-9: A Flüchtige Öle (Färbung: Sudan III) im Kapuzinerkressestängel. B Isothiocyanate im Kapuzinerkressestängel.....	17
Abb. 2-10: Elektronenmikroskopische Aufnahme eines unbehandelten Rapskornes (links) und eines mikrowellenbehandelten Rapskornes (rechts).....	17
Abb. 2-11: Elektronenmikroskopische Aufnahme der Oberflächenstruktur eines getrockneten und eines frischen Kapuzinerkresseblattes.....	18
Abb. 3-1: A Luftbildaufnahme des Standortes der Feldversuche mit Kapuzinerkresse, B Anordnung der Pflanzenklone (FL31, FL37, BG8, BG26) und der Saatmischung (SM) auf dem Versuchsfeld 2005.....	20
Abb. 3-2: Akklimatisierung der Kapuzinerkressepflanzenklone im Gewächshaus.....	21
Abb. 3-3: Bodenbearbeitung vor der Pflanzung.....	21
Abb. 3-4: Feldversuchsanordnung 2005.....	22
Abb. 3-5: Feldversuchsanordnung 2006.....	23
Abb. 3-6: Pflanzung der Pflanzenklone auf einem Versuchsfeld der FAL.....	24
Abb. 3-7: Kalibrierungsgerade zur Bestimmung der Blattfläche der Kapuzinerkresseblätter.....	25
Abb. 3-8: Einfache Hordentrocknung (HTa).....	28
Abb. 3-9: Verbesserte Hordentrocknung (HTb, schematisch dargestellt).....	28
Abb. 3-10: Vakuumtrockenschrank.....	30
Abb. 3-11: Mikrowellenvakuumtrocknungsanlage der Universität Karlsruhe und verwendete Kapuzinerkresse.....	31
Abb. 3-12: Schematischer Aufbau der Mikrowellenvakuumanlage Karlsruhe.....	32
Abb. 3-13: Kalibration der GTL-Gehaltsbestimmung zur Qualitätssicherung der HPLC-Messung.....	37
Abb. 4-1: Biomassezunahme (Trockenmasse) der Blätter einer Pflanze der Kapuzinerkressesaatmischung im Verlauf der Vegetationsperiode (2005).	42
Abb. 4-2: Biomassezunahme (Trockenmasse) der Blätter einer Pflanze innerhalb der Vegetationsperiode von Kapuzinerkresse, in zwei Pflanzabständen gepflanzt (2006).	43
Abb. 4-3: GTL-Gehalt in Kapuzinerkresseblättern in Abhängigkeit von den Stunden nach der Ernte.	46
Abb. 4-4: Lagerung der Kapuzinerkresseblätter im Zeitraum zwischen Ernte und Trocknung.	47
Abb. 4-5: GTL-Gehalte der verschiedenen Pflanzenorgane der Kapuzinerkresse.....	49
Abb. 4-6: GTL-Gehalte von verschiedenen Pflanzenorganen der Kapuzinerkresse.....	50
Abb. 4-7: Biomassezunahme (TM) der Kapuzinerkresse innerhalb einer Vegetationsperiode.	50

Abb. 4-8: Vergleich der GTL-Gehalte der Blätter der Kapuzinerkresse-Genotypen im Jahresdurchschnitt mit der Saatmischung.....	52
Abb. 4-9: GTL-Gehalte der Genotypen der Kapuzinerkresse in der Vegetationsperiode sind tagesabhängig.	52
Abb. 4-10: GTL-Gehalte von verschiedenen Pflanzenorganen der Kapuzinerkresse.....	53
Abb. 4-11: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern und -samen der Genotypen im Vergleich.	53
Abb. 4-12: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern unterschiedlicher Größe.....	56
Abb. 4-13: Beziehung von Frisch (FM)- und Trockenmasse (TM) zur Blattfläche von Kapuzinerkresseblättern.	57
Abb. 4-14: Übersicht der GTL-Gehalte des Versuchsjahres 2004.....	60
Abb. 4-15: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern der verschiedenen Trocknungstechniken im Vergleich beider Schwefelversorgungsvarianten.	61
Abb. 4-16: Vergleich des GTL-Verlusts [%] unterschiedlicher Trocknungsmethoden.....	62
Abb. 4-17: GTL-Gehalte der Kapuzinerkresseblätter in Abhängigkeit von der eingesetzten Mikrowellenleistung.	63
Abb. 4-18: Zusammenhang zwischen GTL-Gehalt der Kapuzinerkresseblätter, Abstand zum Heizgebläse und Trocknungstemperatur.	64
Abb. 4-19: Gewichtsverlust der Kapuzinerkresse während der MWVT-Trocknung.....	64
Abb. 4-20: GTL-Gehalte der durch Mikrowellenvakuumtrocknung (MWVT) getrockneten Kapuzinerkresspflanzen aus dem Gefäßversuch im Vergleich mit der Trocknung im Trockenschrank (40 °C) und der Gefriertrocknung.	65
Abb. 4-21: GTL-Gehalt und GABA-Gehalt in Abhängigkeit von der jeweiligen Trocknungstemperatur.....	66
Abb. 4-22: Blatternte und Trocknung bei 40 °C auf einem gut durchlüfteten Gitter.....	67
Abb. 4-23: GTL-Gehalt in Abhängigkeit der Trocknungstemperatur aufgetragen unter Berücksichtigung von zwei Probengrößen.	67
Abb. 4-24: Vergleich der GTL-Gehalte von Blattproben unterschiedlicher Größe.....	68
Abb. 5-1: Großtechnischer Mikrowellenbandtrockner.....	92
Abb. 5-2: Entwicklung des Flächenumfangs des Heil- und Gewürzpflanzenanbaus in Deutschland	94
Abb. 5-3: Entwicklung des Anteils von Arznei- und Gewürzpflanzen [ohne Körnerdrogen] an der gesamten Ackerfläche der Agrargenossenschaft Nöbdenitz.	95

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Auswahl einiger Glucosinolat-haltiger Pflanzen.	5
Tab. 2-2: Botanische Systematik von <i>Tropaeolum majus</i>	9
Tab. 3-1: Versuchsgliederung der einzelnen Jahre.	23
Tab. 3-2: Variierte Parameter bei der Mikrowellenvakuumtrocknung.	31
Tab. 3-3: Überblick der benötigten Lösungen zur GTL-Analyse.	33
Tab. 3-4: Parameter der HPLC-Messung	34
Tab. 3-5: GTL-Bestimmung von einer Kapuzinerkressekontrollblattprobe (n = 10, 2005).	36
Tab. 3-6: Parameter der verschiedenen Extraktionen von GTL aus Kapuzinerkresse.	37
Tab. 4-1: Schwefel-Gehalt in getrockneter Kapuzinerkresse.	39
Tab. 4-2: Vergleich der GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern mit und ohne Schwefeldüngung zu verschiedenen Beprobungsterminen.	40
Tab. 4-3: Biomassezunahme der Pflanzenorgane einzelner Kapuzinerkressepflanzen (Saatmischung) unterschiedlicher Saatabstände (30 und 60 cm), Schwefeldüngungen und zu verschiedenen Ernteterminen innerhalb der Vegetationsperiode des Versuchsjahres 2005.	41
Tab. 4-4: GTL-Gehalte der Pflanzenorgane einzelner Kapuzinerkressepflanzen einer handelsüblichen Saatmischung mit unterschiedlichen Schwefeldüngungen und Saatabständen im Verlauf der Vegetationsperiode des Versuchsjahres 2005.	42
Tab. 4-5: Biomassezunahme (TM) und GTL-Gehalte der Blätter und Stängel einer Pflanze des Kapuzinerkresseklons FL37 innerhalb einer Vegetationsperiode.	44
Tab. 4-6: Trockenmasse-Anteil der Kapuzinerkresseblätter und -stängel und das Blatt/Stängel-Verhältnis von Kapuzinerkresse Klon FL37.	44
Tab. 4-7: Erträge von getrockneten Kapuzinerkresseblättern pro Hektar zu verschiedenen Terminen des Versuchsjahres 2005 der beiden Saatabstände im Vergleich.	45
Tab. 4-8: Erträge von getrockneten Kapuzinerkresseblättern pro Hektar zu verschiedenen Terminen des Versuchsjahres 2006 der beiden Bestandesdichten im Vergleich.	45
Tab. 4-9: Einfluss der Trocknungstemperatur auf den GTL-Gehalt von Kapuzinerkresseblättern und die Trocknungsdauer.	47
Tab. 4-10: GTL-Gehalte von Pflanzenorganen des Kapuzinerkresse-Genotyps FL37 beider Schwefeldüngungen (0 und 100 kg/ha S) im Verlauf der Vegetationsperiode.	48
Tab. 4-11: Vergleich des Entwicklungsverlaufes der Biomassezunahme einzelner Pflanzenorgane des Kapuzinerkresse-Genotypen FL37 mit einer Schwefeldüngung von 0 bzw. 100 kg/ha S.	48
Tab. 4-12: GTL-Gehalte der getrockneten Blätter der Genotypen in den Pflanzabständen 30 und 60 cm.	54
Tab. 4-13: GTL-Gehalte von getrockneten Pflanzenorganen der Kapuzinerkresse-Genotypen unter Berücksichtigung beider Schwefelversorgungsstufen im Verlauf der Vegetationsperiode.	54
Tab. 4-14: Vergleich des Entwicklungsverlaufes der Biomassezunahme einzelner Pflanzenorgane der Kapuzinerkresse-Genotypen mit einer Schwefeldüngung von 0 bzw. 100 kg/ha S.	55
Tab. 4-15: Unterscheidung verschieden großer Kapuzinerkresseblätter in GTL-Gehalt, Blattfläche und Trockenmasse.	58
Tab. 4-16: Extraktionsansätze aus Blättern und Samen der Kapuzinerkresse.	59
Tab. 4-17: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern der Trocknungsversuche des Jahres 2004.	60
Tab. 4-18: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern der Trocknungsversuche des Versuchsjahres 2005.	61
Tab. 4-19: Dauer der angewendeten Trocknungstechniken.	62

Tab. 4-20: Hordentrocknung (HTb) zu verschiedenen Terminen im Überblick.....	63
Tab. 4-21: GTL-Gehalt der mikrowellenvakuumgetrockneten Kapuzinerkresse im Zusammenhang mit den angewendeten Parametern.	65
Tab. 4-22: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblattproben und deren GABA-Gehalte unterscheiden sich je nach verwendeter Trocknungstechnik.	66
Tab. 4-23: Beziehung zwischen GTL-Gehalt von Kapuzinerkresseblättern, Probengröße und Trocknungstechnik zu zwei Terminen.	68
Tab. 5-1: Spezifische Investitionskosten und Energieaufwand für verschiedene Trocknungstechniken.....	91

Abbildungen und Tabellen im Anhang

Abb. A 1: Vergleich der Sonnenscheindauer, Niederschlagsmenge und mittleren Temperatur der Jahre 2001 - 2006.....	123
Tab. A 1: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern mit verschiedenen Trocknungstechniken getrocknet (Versuchsjahr 2004).....	124
Tab. A 2: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern mit verschiedenen Techniken getrocknet (Versuchsjahr 2005).....	125
Tab. A 3: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern im Trockenschrank bei 40 °C getrocknet (Trocknungsdauer: 5 Tage, Versuchsjahr 2006).	127
Tab. A 4: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern im Mikrowellengerät getrocknet (Trocknungsdauer 2 min, Versuchsjahr 2006).	128
Tab. A 5: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern im Hordentrockner getrocknet (Versuchsjahr 2006).	128
Tab. A 6: GTL-Gehalte von gefriergetrockneten Kapuzinerkresseblättern (Trocknungsdauer 3 - 5 Tage, Versuchsjahr 2006).	129
Tab. A 7: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern im Kondentrockner getrocknet (Trocknungsdauer 24 h, Versuchsjahr 2006).	130
Tab. A 8: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern im Vakuumtrockenschrank getrocknet (Versuchsjahr 2006).	130
Tab. A 9: Witterungsdaten für das Versuchsjahr 2005	131
Tab. A 10: Witterungsdaten für das Versuchsjahr 2006	131
Tab. A 11: Trockenmassezunahme von Klon FL37 im Verlauf der Vegetationsperiode in Bezug auf Beprobungstermin, Schwefelversorgung, Pflanzabstand und Trockenmassen der Pflanzenteile pro Pflanze (Versuchsjahr 2005, Pflanzabstand 30 cm).	132
Tab. A 12: Trockenmassezunahme von Klon BG8 im Verlauf der Vegetationsperiode in Bezug auf Beprobungstermin, Schwefelversorgung, Pflanzabstand und Trockenmassen der Pflanzenteile pro Pflanze (Versuchsjahr 2005, Pflanzabstand 30 cm).	133
Tab. A 13: Trockenmassezunahme von Klon BG26 im Verlauf der Vegetationsperiode in Bezug auf Beprobungstermin, Schwefelversorgung, Pflanzabstand und Trockenmassen der Pflanzenteile pro Pflanze (Versuchsjahr 2005, Pflanzabstand 30 cm).	134
Tab. A 14: Trockenmassezunahme der Saatmischung im Verlauf der Vegetationsperiode in Bezug auf Beprobungstermin, Schwefelversorgung, Saatabstand und Trockenmassen der Pflanzenteile pro Pflanze (Versuchsjahr 2005).	135
Tab. A 15: GTL-Gehalte von Pflanzenorganen des Klons FL37 (Versuchsjahr 2005, TS 40 °C).....	137
Tab. A 16: GTL-Gehalte von Pflanzenorganen des Klons BG8 (Versuchsjahr 2005, TS 40 °C).....	138
Tab. A 17: GTL-Gehalte von Pflanzenorganen des Klons BG26 (Versuchsjahr 2005, TS 40 °C).....	139
Tab. A 18: GTL-Gehalte von Pflanzenorganen der in zwei Abständen gesäten Saatmischung (Versuchsjahr 2005, TS 40 °C).	140
Tab. A 19: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern und -samen der Pflanzenklone (06.09.2005, TS 40 °C).....	142

Tab. A 20: Trockenmassezunahme im Verlauf der Vegetationsperiode (Versuchsjahr 2006). In der Tabelle sind Beprobungstermin, Pflanzabstand und Trockenmassen der Pflanzenteile aufgeführt. Es wurde der Klon FL37 beprobt, alle Parzellen waren ausreichend mit Schwefel versorgt.....	143
Tab. A 21: Glucotropaeolinegehalte (Versuchsjahr 2006, TS 40 °C).....	144
Tab. A 22: GTL-Gehalt in kleinen und großen Kapuzinerkresseblättern (BG8, 30 cm, +S, 03.08.06, TS 40 °C).....	145
Tab. A 23: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern der Trocknungstechniken: Trockenschrank (Frischlufte, 40 °C, Trocknungsdauer 5 Tage), Gefriertrocknung (GF, Trocknungsdauer 3 - 5 Tage) und Mikrowellenvakuumtrocknung (MWVT, Trocknungsdauer 2 h).....	146
Tab. A 24: GTL-Gehalte unterschiedlicher Probengrößen und Trocknungstemperaturen (FL37, + S).	146
Tab. A 25: GTL-Gehalte und GABA-Gehalte der Kapuzinerkresseblätter, die bei verschiedenen Temperaturen getrocknet wurden (+ S, 30 cm).....	147
Tab. A 26: GTL-Gehalte und GABA-Gehalte von mit verschiedenen Techniken getrockneten Kapuzinerkresseblättern.	147
Tab. A 27: GTL-Gehalte der Extrakte nach der Extraktion am Rotationsverdampfer.....	148
Tab. A 28: Blattflächenbestimmung (Versuchsjahr 2005).....	148
Tab. A 29: Blattflächenbestimmung (Versuchsjahr 2006).....	149
Tab. A 30: GTL-Abbau in den Kapuzinerkresseblättern während der Lagerung zwischen Ernte und Trocknung	150

1 Einleitung

Der Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen hat in Deutschland eine jahrhundertealte Tradition. Seit einigen Jahren herrscht wieder vermehrt Interesse an Heilpflanzen und immer mehr setzt sich eine gesundheitsbewusste Ernährung durch. Phytotherapie, Homöopathie und Selbstmedikation mit Hausmitteln und Kräutertees sind allgemein anerkannt (Hoppe 1996). Über 80 % der Bevölkerung bevorzugen es, mit natürlichen Medikamenten behandelt zu werden (Piel 1991, 1992). Es sind steigende Umsätze mit Heilkräutern zu verzeichnen. In den USA ist der Umsatz von 245 Mio. € (1989) auf 526 Mio. € (1994) gestiegen (VWD Landwirtschaft und Ernährung 1994). Bezieht man pflanzliche Heil- und Nahrungsergänzungsmittel mit ein, ist der weltweite Umsatz von 1994 bis 2003 um 5,8 Mrd. € gestiegen, der größte Marktanteil entfällt auf Deutschland mit 1,9 Mrd. € (Galizia und Grünwald 2003). In Deutschland wird insgesamt (rezeptfreie Naturpräparate aus der Apotheke, Phytopräparate aus Reformhäusern, Drogerien und Supermärkten) fast die Hälfte der Produkte des gesamteuropäischen Marktes für natürliche Heilmittel gekauft (www.stern.de 2004). Pflanzliche Arzneimittel sind in Deutschland ein wichtiger Bestandteil des Arzneimittelmarktes: Bei den rezeptfreien Arzneien machen sie einen Anteil von 30 % aus (Steinhoff 1997, BAH 2002). Im Jahr 2002 betrug der Anteil rezeptfreier Arzneimittel natürlichen Ursprungs in Apotheken fast ein Drittel mit einem Umsatz von über zwei Milliarden Euro. Auch nimmt der Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen als nachwachsender Rohstoff auf stillgelegten Flächen in Deutschland zu (Hoppe 1996). Die Zahlen schwanken für die unterschiedlichen Pflanzen und Anwendungsbereiche. Im ökologischen Landbau nehmen die Anbauflächen für Heil- und Gewürzpflanzen ca. 12 % der Gesamtanbaufläche ein (Röhricht und Köhler 2005). Die Marktchancen für ökologisch angebaute Arznei- und Gewürzpflanzen sind begrenzt, aber der Zuwachs des jährlichen Marktvolumens in Deutschland wird von Dehe (1999) mit etwa 10 % beschrieben. Eine bundesweite Befragung der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft über den ökologischen Heil- und Gewürzpflanzenanbau in Deutschland ergab, dass Unternehmen der ökologischen Heil- und Gewürzpflanzen-Erzeugung und -Verarbeitung der Zukunft optimistisch entgegen sehen und eine Expansion der Produktion prognostizieren (<http://forschung.oekolandbau.de> 2005).

Viele der heute verwendeten Gemüsearten galten in der Volksmedizin als Heilpflanze, so wurde Kohl beispielsweise früher als Panazee, d. h. als Allheilmittel verwendet (Vohora et al. 1973, Hänsel 1980). Nimmt man mit der Nahrung viel Kohl zu sich, soll das Darmkrebsrisiko

gesenkt werden. Die Grundlage dieser Erkenntnisse sind epidemiologische Untersuchungen (Bjelke 1973, Graham et al. 1978, Habs 1980, Rodale 1980, Kluthe und Zürcher 1983, Oeser und Koeppe 1983). Schlechtheilende Wunden, Infektionen der Harnwege und Erkrankungen der Atemwege wurden mit Meerrettich (Kienholz und Kemkes 1960, Isaac und Kohlstaedt 1962, Steinegger und Hänsel 1972, Bianchini et al. 1983) oder mit Garten- sowie Kapuzinerkresse (*T. majus*) (Winter und Willeke 1953, Schäffer 1980) behandelt.

In all diesen Pflanzen finden sich Glucosinolate, die zur Gruppe der sekundären Pflanzenstoffe gehören. Sekundäre Pflanzenstoffe dienen der Pflanze als Farb-, Lock-, Duft-, Boten- oder Abwehrstoffe, sie sind, wie auch Vitamine, Mineralstoffe, Spurenelemente und Ballaststoffe wichtige Pflanzeninhaltsstoffe, haben jedoch für den Konsumenten keine nährnde Funktion. Diese sekundären Pflanzenstoffe können ein bioaktiver Wirkstoff der Pflanze sein, Grundlage von Heilwirkungen sein und sich gesundheitsfördernd auf den Menschen auswirken.

Die in dieser Arbeit untersuchte Arzneipflanze Kapuzinerkresse wird zur Behandlung von Harnwegserkrankungen eingesetzt, außerdem hat sie eine unspezifisch immunstimulierende Wirkung und soll antikanzerogen wirken (Metz 2000). Die Pflanze enthält das Glucosinolat Glucotropaeolin (GTL), aus dem bei Gewebeerstörung Senföle gebildet werden, die die Pflanze vor Fressfeinden (Herbivoren) schützen können (siehe Kapitel 2). Aufgrund dieser postmortalen Hydrolyse gestaltet sich die Gewinnung von qualitativ hochwertigen Kapuzinerkressepräparaten als schwierig, denn bei Verletzungen im Zuge der Ernte wird das GTL gespalten, so dass sich der Gehalt an Glucosinolaten zum Teil drastisch reduziert. Allerdings sind ausreichend hohe Konzentrationen unerlässlich, die getrocknete Kapuzinerkresse muss ausreichende Mengen an GTL enthalten. Folglich ist es wichtig, den Anbau, die Ernte und die Weiterverarbeitung der Pflanze so durchzuführen, dass der Wirkstoff erhalten bleibt und sich in ausreichend hohen Gehalten im Endprodukt wiederfindet. Ein angestrebter wirtschaftlicher Erfolg kann sich danach nur einstellen, wenn – wie bei anderen Arzneipflanzen auch – die Besonderheiten des Anbaus und der Ernte geklärt und optimiert sind (Pank 1993). Deshalb ist für die weitere Entwicklung eine abgestimmte Strategie spezieller Bestell-, Pflege- und Erntetechnik für den Arzneipflanzenanbau erforderlich. Im Gegensatz zur unerwünschten Hydrolyse während der Ernte, ist die Freisetzung von Senfölen im Darm eine wesentliche Voraussetzung für die Wirkung des Präparates.

Zielsetzung und Problemstellung

Faktoren wie Sortenwahl, Anbaumethode, Trocknung und Aufbereitung beeinflussen die Qualität von Medizinalpflanzen. Der Rohstoff für ein mögliches Phytopharmakum wird durch die Einflussfaktoren in seinen Wirkstoffkonzentrationen beeinträchtigt oder begünstigt. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Bedingungen zur erfolgreichen landwirtschaftlichen Nutzung der Arzneipflanze Kapuzinerkresse (*T. majus*) zu erarbeiten.

Unter natürlichen Freilandbedingungen ist der Gehalt der bioaktiven Verbindung GTL in Kapuzinerkresse zu gering, um das Blattmaterial direkt für die Herstellung eines Monopräparates zu verwenden. Um qualitativ hochwertiges Rohmaterial für die Arzneimittelproduktion bereitstellen zu können, gilt es zum einen die GTL-Gehalte im Pflanzenmaterial zu maximieren und zum anderen die GTL-Verluste während der Ernte zu minimieren. Es wird auf die Kultivierungsbedingungen (Pflanzabstand, Genotypische Variabilität und Düngung) und Nachernteverfahren zur Erlangung von besten Ernteerträgen eingegangen.

Ziel dieser Arbeit sind folgende Untersuchungen:

Kultivierung im Feldmaßstab von aus *in vitro*-Kulturen ausgewählten Kapuzinerkressenpflanzen.

Genotypische Variabilität und Unterschiede im GTL-Gehalt der Pflanzenorgane von Kapuzinerkresse.

Förderung des GTL-Gehaltes durch optimierte Anbaumethoden und Nachernteverfahren der Kapuzinerkresse, sowie der GTL-Erhalt nach Anwendung verschiedener Trocknungstechniken.

Erhebung des Trockenmasse-Ertrages unter den gegebenen Feldbedingungen. Neben dem Glucosinolat-Gehalt der Pflanze ist der zu erreichende Ertrag an Biomasse für einen erfolgreichen Anbau von Bedeutung.

Berücksichtigung von Erntetechnik, Transport und Lagerung, um einen optimalen Gehalt an GTL zu erreichen.

Untersuchung von GABA in Kapuzinerkresse als Stressindikator.

2 Grundlagen und Kenntnisstand

2.1 Glucosinolate

Glucosinolate, die auch als Senfölglycoside bezeichnet werden, geben vielen Gemüsearten ihren charakteristischen würzigen Geschmack. Sie kommen nur in bestimmten Familien von dikotylen Angiospermen, wie *Cruciferae*, *Capparidaceae*, *Reedaceae* und *Moringaceae* vor (Hoffmann 1978, Kjaer 1980, Larsen 1981, Fahey et al. 2001). Insgesamt konnten bis heute ungefähr 130 verschiedene Glucosinolate identifiziert werden.

Es handelt sich bei den Glucosinolaten (β -Thioglucoside-N-hydroxysulfate) um schwefelhaltige Sekundärmetabolite höherer Pflanzen mit einer charakteristischen Grundstruktur (Ettlinger und Lundeen 1956, Abb. 2-1). Ihre Wirkungen und Funktionen sind je nach Agluconrest des Moleküls unterschiedlich. In Tab. 2-1 sind ausgewählte Glucosinolate aufgeführt.

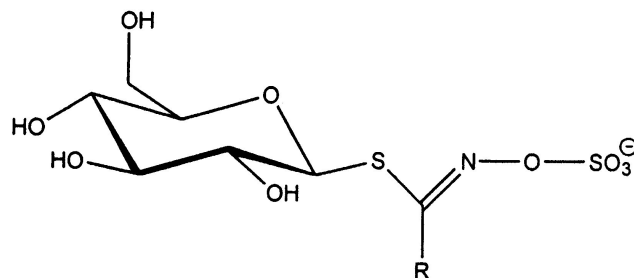
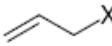
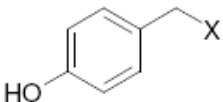
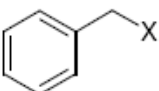
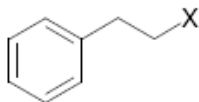

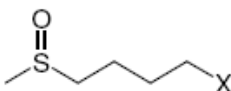


Abb. 2-1: Gemeinsame Grundstruktur der Glucosinolate. Im Agluconrest (R) unterscheiden sich die Glucosinolate.

Tab. 2-1: Auswahl einiger Glucosinolat-haltiger Pflanzen.

Glucosinolat	Senföl	Agluconrest (R) (X = Grundstruktur)	Pflanzen (Auswahl)
Sinigrin	Allylsenföl		Schwarzer Senf, Meerrettich, Rosenkohl
Sinalbin	p-Hydroxybenzyl-Senföl		Weißer Senf
Glucotropaeolin	Benzyl-Senföl		Kapuzinerkresse, Gartenkresse, Meerrettichbaum, Papaya
Gluconasturtiin	Phenylether-Senföl		Brunnenkresse
Gluconapin	3-Butenyl-Senföl		Senf, Meerrettich, Kohlrarten, Raps, Rübsen
Glucoraphanin	Sulphoraphen		Gartenrettich, Radieschen, Brokkoli

Glucosinolat-Biosynthese

Studien mit Isotopen als Indikator haben gezeigt, dass die Glucosinolat-Biosynthese in allen Geweben stattfindet (Josefsson 1973, Toroser et al. 1995). Die biogene Vorstufe der Glucosinolate sind Aminosäuren. Die chemische Struktur der jeweiligen Aminosäure bestimmt dabei die Art des jeweiligen Glucosinolates (Benn 1962, Underhill et al. 1962, Wetter und Chisholm 1968, Underhill und Wetter 1973). So wird beispielsweise Methionin in Alkenyl-, Sulfinyl-, Sulfonyl- und Thioglucosinolate umgewandelt, und aus Tryptophan bilden sich Indolglucosinolate. Die ersten stabilen Produkte dieses Syntheseweges sind N-hydroxylierte Aminosäuren (Kindl und Underhill 1968, Underhill 1980), eine Vorstufe der Aldoxime. Anschließend wird die Thiolgruppe der Aminosäure Cystein übertragen und es entsteht eine thiohydroximische Säure (Underhill und Wetter 1969). Durch Anlagerung von

Glucose, katalysiert durch das Enzym Thiohydroximat-Glucosyltransferase, bildet sich ein Desulfoglucosinolat (Matsuo und Underhill 1971). Das Sulfat wird von PAPS (3'-Phosphoadenosin-5'-phosphosulfat) mit Hilfe einer Sulfotransferase (Glendening und Poulton 1988) auf das Molekül übertragen und Glucosinolat gebildet. Verschiedene Varianten der Glucosinolate bilden sich ausgehend von dieser Grundstruktur und durch den Einfluss spezifischer Enzyme auf die Elongation und Hydroxilierung der Seitenketten (Bergmann 1970, Underhill und Wetter 1973, Gland et al. 1981, McDanell et al. 1988).

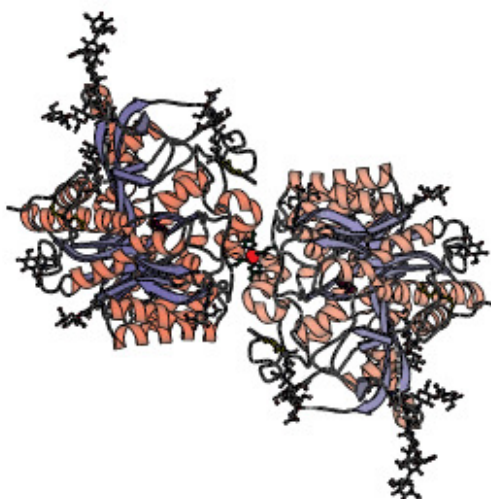


Abb. 2-2: Kristallstruktur der glycosylierten Myrosinase (Burmeister et al. 1997). Das Protein faltet sich aus α -Helices und β -Faltblättern zu einem Dimer mit einem zentralen Zn^{2+} -Ion.

Glucosinolat - Abbau

Der postmortale Abbau der Glucosinolate wurde bereits gut dokumentiert (Benn 1977, Underhill 1980, Larsen 1981, Bones und Rossiter 1996, Halkier 1999, Selmar 1999). In dem Glucosinolatmolekül hydrolysiert die endogene Thioglucosid-Glucosidase Myrosinase (E.C.3.2.3.1, Abb. 2-2) die glycosidische Bindung zwischen Glucose und reduziertem Schwefel (Abb. 2-3) (Isaac und Kohlstaedt 1962, Gessner und Orzechowski 1974, Herrmann 1977, 1978, Lindner 1979, Hänsel 1980, Wagner 1980, Belitz und Grosch 1982). Das durch die Spaltung entstehende Aglucon (Björkman 1976, Hoffmann 1978) zerfällt in leicht saurem Milieu zu Sulfat und durch Lossen-Umlagerung entsteht als Hauptabbauprodukt das aromawirksame Isothiocyanat, auch Senföl genannt. Dieses ist für den typisch stechend scharfen Geruch und Geschmack der Pflanze verantwortlich (MacLeod 1976, Fenwick et al. 1983, Rosa et al. 1997). Als weitere flüchtige Abbauprodukte werden je nach Reaktionsbedingungen Thiocyanate und Nitrile freigesetzt. Die Art und Anzahl der entstehenden biologisch aktiven Produkte hängt von den Bedingungen und Vorkommen der

beteiligten Proteine ab (Fenwick et al. 1983, Chew 1988a, Rask et al. 2000, Lambrix et al. 2001).

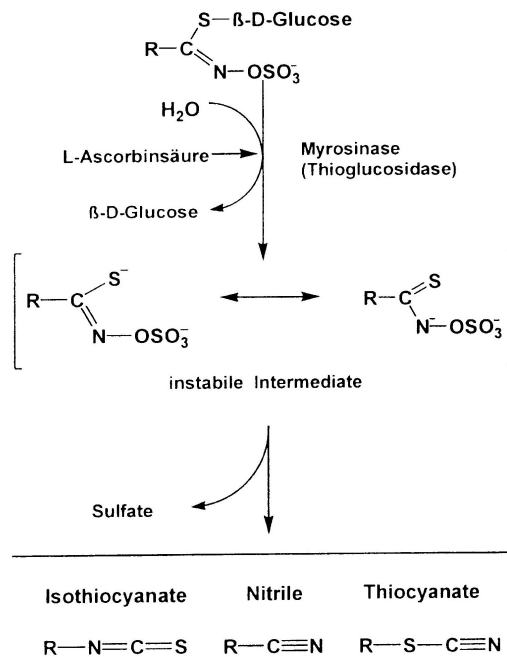


Abb. 2-3: Abbaureaktion von Glucosinolaten (Watzl 2001).

Aufgrund der heftigen, durch die Myrosinase katalysierten Hydrolyse der Glucosinolate spricht man auch von der so genannten „Senfölbombe“ (Matile 1980, Lüthy und Matile 1984, Ratzka et al. 2002). Wegen dieser Koexistenz des GTL und der Myrosinase ist es nicht möglich, Material von Kapuzinerkresse (*T. majus*) ohne Verluste zu ernten oder zu trocknen (Bones und Rossiter 1996). Dabei hängen die Myrosinaseaktivität und der Glucosinolat-Abbau vom Grad der mechanischen Verletzung des Pflanzengewebes ab.

Die Myrosinase findet sich im Pflanzengewebe isoliert in Idioblasten, stomatären Schutzzellen oder innerhalb der Zellen assoziiert mit Gefäßen des Endoplasmatischen Retikulums und dem Mitochondrium (Pihakaski und Iversen 1976, Joergensen 1987). Beide Substanzen liegen im intakten, gesunden und lebenden Gewebe kompartimentiert vor. So sind die Glucosinolate in der Vakuole lokalisiert, wohingegen die Myrosinase - ein cytosolisches Enzym - die Neigung hat, an die Membranoberfläche zu binden.

Wirkung von Glucosinolaten

Die Rolle des Glucosinolat-Myrosinase-Systems in der Interaktion mit Insekten (Jander et al. 2001, Nielsen et al. 2001, Lambrix et al. 2001) und mikrobiellen Pathogenen (Brader et al. 2001, Tierens et al. 2001) ist gut untersucht. Aufgrund ihres scharfen Geschmacks können glucosinolathaltige Pflanzen eine abstoßende Wirkung auf Herbivoren (Lichtenstein et al. 1964, Beck und Reese 1976, Benn 1977, Van Etten und Tookey 1978, Holm et al. 1985, Zobelt et al. 1986) und bakterielle und pilzliche Pathogene (Drobnica et al. 1968, Rada et al. 1971, Dornberger et al. 1975, Schoenbeck und Schloesser 1976, Buchwaldt et al. 1985, Mithen et al. 1986, Hammond und Lewis 1987, Peterka und Schlösser 1988, Brown und Morra 1997, Manici et al. 1997, Vierheilig et al. 2004) ausüben.

Allerdings können die Glucosinolate auch als Attraktanten die Aufmerksamkeit von entsprechend im Zuge coevolutiver Prozesse angepassten Insekten stimulieren (Beck und Reese 1976, Benn 1977, Feeny 1977, Nielsen 1977, 1978, et al. 1979, Larsen et al. 1985, Chew 1988b, Bones und Rossiter 1996, Renwick 2001, Wittstock et al. 2004).

Ferner können Glucosinolate auch allelopathische Wirkungen haben; so verhindern beispielsweise die Früchte einiger Kreuzblütler die Keimung anderer Pflanzen. Aktives Prinzip sind die Abbauprodukte der Indolglucosinolate (Campbell 1959, Andersen und Muir 1966, Mason-Sedun et al. 1986, McDanell et al. 1988).

Die Abwehr von Pathogenen mit den beschriebenen Wirkungen der Glucosinolate bzw. deren Abbauprodukten sind die Grundlage für die Nutzung von Glucosinolat-haltigem Pflanzenmaterial in der Medizin, dabei steht die antibiotische Wirkung, die später am Beispiel der Kapuzinerkresse näher beschrieben wird, im Vordergrund (Winter 1955, 1959).

Neben der pharmazeutischen Anwendung sind viele der Glucosinolatabbauprodukte ernährungsphysiologisch wertvolle bioaktive Substanzen und haben weitere pharmakologische Wirkungen. Cartheuser (1755) nannte Glucosinolate als Gallenarznei, Diuretikum und Mittel gegen Skorbut. Glucosinolate haben wahrscheinlich eine positive Wirkung auf Krebs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Fahey et al. 1997, Verhoeven et al. 1997, Fachinformation der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e.V. 1999). In zahlreichen Studien wurde der Einfluss von Isothiocyanaten bei der präventiven Wirkung gegen Krebserkrankungen untersucht und nachgewiesen (Hecht 2000). Verhindernde Wirkung auf Krebs haben beispielsweise Sulforaphan und einige Indolisothiocyanate (McDanell et al. 1988, Zhang et al. 1994, Tawfig et al. 1995, Jongen 1996).

2.2 Kapuzinerkresse

Geschichte und botanische Systematik

Ursprünglich in Peru beheimatet, wurde Kapuzinerkresse (*T. majus*) 1684 als Indische Kresse in Europa eingeführt (Sparre 1975). Charakteristisch für Kapuzinerkresse sind die verschieden farbigen Blüten und die runden Blätter mit einer sternförmigen Nervatur (Abb. 2-4), deren Anordnung nach Paoli (2003) als mechanische Verstärkung einer Welkung entgegenwirkt.



Abb. 2-4: Kapuzinerkresse.

Kapuzinerkresse gehört zur Familie der Kapuzinerkressengewächse (*Tropaeolaceae*) (Tab. 2-2). Tropaeolaceen sind in Mittel- und Südamerika mit etwa 90 Arten heimisch (Franz 1996) und bezüglich des Standortes anpassungsfähig, dieser reicht von den tropischen Regenwäldern bis zur Schneegrenze der Anden und Kordillern (Hegi 1957).

Tab. 2-2: Botanische Systematik von *Tropaeolum majus*.

Systematik	Kapuzinerkresse
Klasse	Dreifurchenpollen-Zweikeimblättrige (Rosopsida)
Unterklasse	Rosenähnliche (Rosidae)
Ordnung	Storchenschnabelartige (Geraniales)
Familie	Kapuzinerkressengewächse (Tropaeolaceae)
Gattung	Kapuzinerkressen (<i>Tropaeolum</i>)
Art	Kapuzinerkresse
Wissenschaftlicher Name	<i>Tropaeolum majus</i> L.

Kapuzinerkresse wird als Gartenzierpflanze und Gemüse genutzt. Unter Obstbäumen gepflanzt wirkt sie gegen Blutläuse (Eichenberger und Henggeler 2002). Während sie in unseren Breiten einjährig wächst und jedes Jahr neu gesät werden muss, bildet sie in ihrer Heimat ausdauernde Bestände. Durch ihre Empfindlichkeit gegenüber Kälte stirbt sie in Mitteleuropa bei Frost ab. Wenn die letzten Nachtfröste im April oder Mai vorüber sind, erfolgt die Anzucht der Pflanzen. Sie keimen rasch und bilden nach ca. sechs Wochen erste Blüten. Gegenüber Trockenheit zeigt sich die Kapuzinerkresse unempfindlich, sie hält die Bodenfeuchte zurück. Die Samenernte erfolgt im Herbst, die Keimkraft überdauert etwa vier Vegetationsperioden.

Inhaltsstoffe von Kapuzinerkresse

Der typische senfartige Geruch und der scharfe Geschmack der Kapuzinerkresse sind auf das Glucosinolat Glucotropaeolin (GTL) zurückzuführen. Neben dem Vitamin C, von dem beim Trocknungsprozess viel verloren geht (Scheunert und Theile 1952), ist das GTL der wichtigste pharmakologische Inhaltsstoff der Kapuzinerkresse. In allen Pflanzenorganen findet sich GTL, besonders angereichert ist es jedoch in den Samen. GTL gehört zur Gruppe der aromatischen Glucosinolate und ist das einzige nachgewiesene Glucosinolat in Kapuzinerkresse (Kjaer et al. 1978).

Wie verschiedene Brassicaceae enthält auch Kapuzinerkresse in den Samen viel Erucasäure (70 - 75 % der gesamten Fettsäuren) (Radwan 1976, Pollard und Stumpf 1980, Mietkiewska et al. 2004), die auch antimikrobiell wirksam ist (Bailey et al. 1993). In den Samen finden sich auch spezifische Reservepolysaccharide (Kooiman 1960), es handelt sich um Amyloide, die auch in anderen Pflanzen vorkommen, aber insbesondere bei den Tropaeolaceen ein chemotaxonomisches Merkmal sind.

Die Blüten von *Tropaeolum* enthalten Carotinoide, hauptsächlich Lutein und Zeaxanthin. Auch Anthocyanidine sind in der Blüte vorhanden und führen zu den großen Farbvariationen. In der Pflanze befinden sich außerdem viele unterschiedliche Polyphenole und niedermolekulare Phenole wie Chlorogensäure und Flavonoide (Sykut 1966).

Wirkung von Kapuzinerkresse

Die biologischen Effekte der Kapuzinerkresse stehen im Zusammenhang mit dem GTL-Gehalt bzw. seinem Abbauprodukt, dem Benzylisothiocyanat. Das Benzylsenföl ist phytonzid und man bezeichnet es wegen seines weiten Wirkungsspektrums als „Breitbandantibiotikum“ (Virtanen 1962, Pulverer 1968, Gessner und Orzechowski 1974, Schäffer 1980, Hänsel und Haas 1983). Jakobey et al. (1988) beschreiben in „Gemüse als Arzneipflanze“ die Wirkung von Kapuzinerkresse. Laut Kull (1993) kann die antibiotische Wirkung von Pflanzen im Vergleich zu klassischen Antibiotika geringer sein, da die Wirkstoffe häufig erst durch Verletzung von Pflanzenzellen entstehen, indem eine Vorstufe enzymatisch gespalten wird. Bei herkömmlichen Antibiotika kann es zur Resistenzbildung kommen, wie eine aktuelle Studie bestätigt (Dancer 2007). Bei den Senfölen, die bereits seit Jahrhunderten zur Behandlung von Atemwegs- und Harnwegsinfektionen eingesetzt werden, sind bisher keine Resistenzen beobachtet worden.

Antibiotische Wirkung haben außer Tropaeolaceen auch andere höhere Pflanzen wie Ranunculaceen, Liliaceen, Brassicaceen und Asteraceen (Schauenberg und Paris 1978, Bocker und Thrum 1987). Eine antibiotische Wirkung kann neben Senfölen unter anderem auf einige Alkaloide, ätherische Öle oder Gerbstoffe zurückgeführt werden. Von den 4061 Arten die Antibiotika bilden, sind 732 (18 %) höhere Pflanzen (Abb. 2-5).

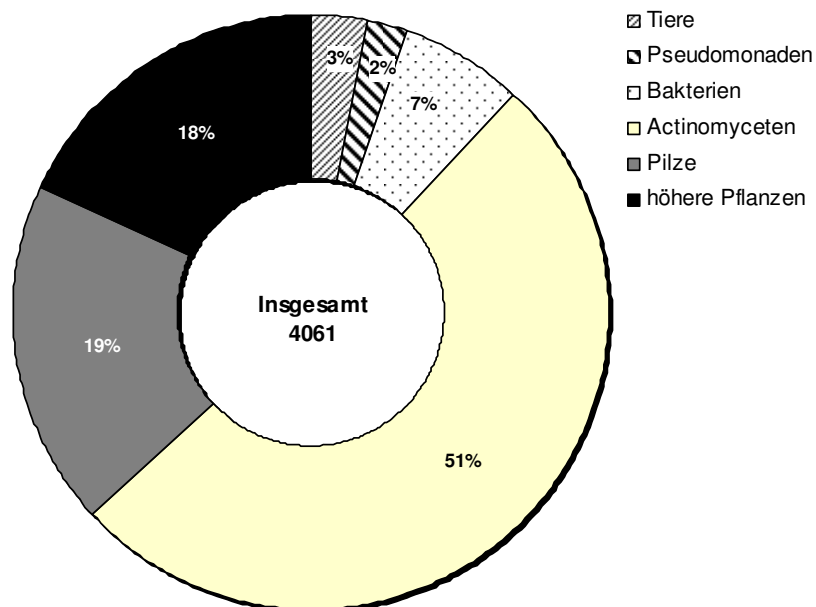


Abb. 2-5: Vorkommen von Antibiotikabildnern im Pflanzen- und Tierreich (nach Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie 1995).

In vitro ist eine bakteriostatische, virostatistische und antimykotische Wirkung der Kapuzinerkresse nachgewiesen (Winter und Willecke 1954, Vichanova et al. 1972, Santa

Cruz 1991, Pintao und Pais 1994, Hoffmann-Bohm und Koch 1994). Wagner und Wiesenauer (1995) beschreiben das Wirkprinzip des Benzylsenföles der Kapuzinerkresse, das gegen Gram-positive und Gram-negative Bakterien eingesetzt werden kann. Das Enzym Myrosinase ist, wie schon beim Glucosinolat-Abbau beschrieben, im postmortalen Abbau bedeutsam und auch innerhalb der menschlichen Darmflora kommen Enzyme mit Myrosinase-Aktivität vor. Die Wirkung von Kapuzinerkresse entsteht im Magen-Darm-Trakt durch den enzymatischen Abbau von intaktem GTL. Die Senföle werden wegen ihrer Fettlöslichkeit im Zwölffingerdarm resorbiert und über den Respirationstrakt und die Harnwege nach Bindung an Glutathion als Mercapturonsäure ausgeschieden (Winter und Rings-Willeke 1958, Winter 1959, Orzechowski 1972, Schäffer 1980, Hänsel und Haas 1983). Erklären lässt sich die antibiotische Wirkung durch einen Eingriff des Wirkstoffes in den Intermediärstoffwechsel der Mikroorganismen (Rudat 1969, Hoppe 1975/77, Weiss 1980, Hänsel und Haas 1983).

Frische Kapuzinerkresseblätter finden traditionellerweise Anwendung bei der Behandlung infizierter Wunden und der Gallenblase. Auch als Diuretikum, Aphrodisiakum und als Medizin gegen Krankheiten wie chronischer Bronchitis, Blasenentzündung und grippale Infekte wurde Kapuzinerkresse verwendet (Wicher 1954, Friedrich 1955, Winter 1955, 1959, Madaus 1976, Lang 1979, Müller 1979, Weiss 1980, Monografie der Kommission E 1992). Außerdem ist sie appetitanregend, verdauungsfördernd und hat eine hautreizende und durchblutungsfördernde Wirkung (Wolters 1995). In der volkstümlichen Medizin Perus werden die Pflanzen als Emmenagoga (Menstruation auslösende oder verstärkende Mittel) verwendet (Herrera 1940). Der hohe Vitamin C-Gehalt der frischen Kapuzinerkresseblätter von etwa 300 mg Vitamin C/100 g half bei der Behandlung von Skorbut. Rezepte zur äußerlichen Anwendung bei Haarausfall sind auch vermerkt (Madaus 1938). Das Glucosinolat der Kapuzinerkresse besitzt außerdem eine unspezifische immunstimulierende Wirkung und induziert nach *per os* Gabe eine Leukozytose. So zeigte sich z. B. bei Meerschweinchen nach Injektion von Extrakten aus Blättern der Kapuzinerkresse eine Steigerung der Leukozytenzahl nach relativ kurzer Zeit (Halbeisen 1954).

Die Kommission E des Deutschen Bundesgesundheitsamtes (heute Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte, BfArM) empfiehlt diese Arzneipflanze zur innerlichen und unterstützenden Behandlung von Infekten der ableitenden Harnwege. Der Wirkstoff GTL wird bereits in einem Kombinationspräparat aus Kapuzinerkressekraut und Meerrettichwurzel eingesetzt (Kienholz und Kemkes 1960, Isaac und Kohlstaedt 1962) und zeigte im Test eine Wirksamkeit, die mit Standardantibiotika vergleichbar ist (Goos et al. 2006). Die natürliche Alternative zeichnet sich durch ein geringeres Nebenwirkungspotential und bessere

Verträglichkeit aus, lediglich bei einer dauerhaften Anwendung kann es zu Magen- und Darmbeschwerden durch Schleimhautirritationen kommen.

Unlängst konnte nachgewiesen werden, dass Kapuzinerkresse auch antikanzerogen wirksam ist (Pintao et al. 1995). Der Wirkmechanismus ist unter anderem auf die Modulation der Aktivität von Phase-I- und -II-Enzymen zurückzuführen. Phase-I-Enzyme sind beispielsweise Enzyme der Cytochrom-P-450-Gruppe, die Procancerogene zu aktiven Cancerogenen umsetzen. Das Cytochrom-P-450-Isozym 2B1 ist an der Umsetzung von Nitrosaminen zu Lungentumor-Cancerogenen beteiligt. Die krebshemmende Wirkung von Isothiocyanaten ist auf die Hemmung solcher Cytochrom-P-450-Isozyme zurückzuführen (Conaway et al. 1996). Phase-II-Enzyme sind so genannte Entgiftungsenzyme, die die Cancerogene in leichter ausscheidbare Endprodukte umwandeln. Auch für die Isothiocyanate Sulforaphan und Benzylisothiocyanat ist die Aktivierung von Phase II-Enzymen wie Glutathion-S-Transferase *in vivo* beschrieben (Fahey et al. 1997, Watzl und Leitzmann 1999). Tatsächlich konnte Benzylisothiocyanat die Entwicklung von Tumoren im Tierversuch hemmen. Es ist sowohl vor als auch nach der Cancerogen-Applikation anticancerogen wirksam (Fenwick et al. 1983, Hecht 2000, Mithen et al. 2000).

2.3 Einflüsse auf den Glucotropaeolingehalt von Pflanze und Erntegut

Neben den Einflussparametern auf den Glucosinolat-Gehalt in der Pflanze, wie Schwefelversorgung, Lichtintensität, Temperatur, pflanzliches Entwicklungsstadium, Pflanzenorgane, Interaktionen zwischen Pathogenen und genetischer Variabilität (Rosenthal und Janzen 1979, Merrien 1989, Fieldsend und Milford 1994a, b, Schnug 1997, Rosa und Rodrigues 1998, Bloem et al. 2001a, Bloem et al. 2002), wirken sich Ernte- und Nacherntebehandlung auf das Erntegut aus. Es gibt verschiedene biotische und abiotische Faktoren die den GTL-Gehalt der Kapuzinerkresse beeinflussen.

Einfluss auf die Pflanze

Ein warmes, trockenes Klima mit hoher Sonneneinstrahlung ist ideal für die Erzeugung eines hohen Wirkstoffgehaltes in Kapuzinerkresse. So wird der Anbau der Kapuzinerkresse in Ländern wie Ägypten durch das Klima begünstigt. Bloem et al. (2000) untersuchten den Einfluss unterschiedlicher klimatischer Bedingungen auf die Wirkstoffgehalte von *Tropaeolum majus*. Getrocknete Kapuzinerkresseblätter aus semiariden Regionen hatten einen mehr als achtmal so hohen GTL-Gehalt wie vergleichbar getrocknete Kapuzinerkresseblätter aus humiden Regionen (Bloem et al. 2003).

Schwefeldüngung intensiviert den Geschmack unter anderem von Zwiebeln (Freeman und Mossadeghi 1970 a, b), Knoblauch (Freeman und Mossadeghi 1971) und Kapuzinerkresse, da ein ausreichendes Angebot des Nährstoffes Schwefel den Glucosinolat-Gehalt in Geweben und Samen der Pflanze steigert (Nutall et al. 1987, Merrien und Pouzet 1989, Ramans 1989, Schnug 1987, 1988, 1989, et al. 1995). Bei einer unzureichenden Schwefelversorgung der Pflanzen sinkt die freie Schwefel- und Glucosinolat-Konzentration ab und steigt die Myrosinase-Aktivität (Underhill 1980, Schnug 1990). Sulfat und Isothiocyanat können als Schwefelquellen im primären Metabolismus der Pflanze genutzt werden (Machev und Schraudolf 1978). Dagegen wird möglicherweise bei Schwefelmangel Sulfat-Schwefel durch enzymatische Spaltung (Myrosinase) aus Glucosinolat remobilisiert (Schnug 1993). Bloem et al. (2001 a/b, 2007) konnten nachweisen, dass der GTL-Gehalt von Kapuzinerkresse von der Schwefelversorgung beeinflusst wird und auch Matallana et al. (2006) wiesen einen direkten Zusammenhang zwischen Schwefelgabe und GTL-Synthese nach.

Einfluss auf das Erntegut

Bereits in der Urzeit wurde Trocknung dazu genutzt, Lebensmittel zu konservieren (Samwald 2007); ihre heutige Anwendung reicht von der Landwirtschaft bis hin zur Pharmazie. Sie ist nicht nur das älteste, sondern auch das energieintensivste Verfahren (Kudra und Mujumdar 2002). Neben der Konservierung soll auch das ursprüngliche Aroma erhalten bleiben. Bei einer schonenden Trocknung wird selektiv Wasser durch die Trocknung entfernt und zugleich flüchtige Aromabestandteile in der Produktmatrix zurückgehalten. Die Haltbarkeit wird durch Trocknung begünstigt, wohingegen durch starkes Trocknen wertvolle Nährstoffe verloren gehen (van't Land 1991). Thijssen (1972) und King (1980) ermittelten wirtschaftliche Verfahren für eine gewünschte Produktqualität (Löslichkeit, Aromaerhalt) und beschreiben die Mechanismen der Aromaretention theoretisch durch die selektive Diffusionstheorie. Eine Übersicht zu diesen Verfahren enthält die Arbeit von Coumans et al. (1994). Entscheidend ist es, die richtige Trocknungstechnik und die richtige Temperatur für die jeweilige Pflanze zu verwenden. Ansprüche an die Trocknung von Kapuzinerkresse sind, neben der Produktqualität, die sich durch möglichst hohe GTL-Gehalte auszeichnet, eine energiesparende Umweltverträglichkeit (CO₂-Reduzierung). Der energieintensive Prozess der Trocknung ist teuer: Ungefähr 12 % des gesamten Energieverbrauchs der Industrie (Strumillo et al. 1995, Gehrman 2003) werden für die Trocknung aufgewendet.

Mikroskopische Untersuchungen von Kapuzinerkresse

In unverletzten Zellen sind das Enzym Myrosinase und das Glucosinolat in verschiedenen Zellkompartimenten zu finden. Myrosinase, Ascorbinsäure und GTL bilden gemeinsam das Prinzip der „Senfölbombe“ zur Abwehr von Fressfeinden. Anhand dieses Modells (Abb. 2-6) zeigt sich, dass Glucosinolate in der Vakuole lokalisiert sind und Myrosinase im Cytosol mit der Neigung sich an die Membranoberfläche zu binden (Matile 1980, Lüthy und Matile 1984). Die Aktivität des Enzyms Myrosinase wird dabei außer von der Pflanzenart und dem Klima auch von Ascorbinsäure beeinflusst (Burmeister et al. 2000, Charron et al. 2005). Durch die Anwesenheit des Cofaktors Ascorbinsäure wird die Position des zur Hydrolyse benötigten Wassermoleküls verbessert und steigert so die Aktivität des Enzyms beträchtlich.

Mikroskopiert man Blatt und Samen der Kapuzinerkresse (Abb. 2-7, Abb. 2-8), wird zunächst nicht die Lage der Myrosinase und des Glucotropaeolins deutlich. Laut Metcalfe und Chalk (1950) enthalten Tropaeolaceae Myrosinase in den Blättern, jedoch nicht erkennbar in speziellen Zellen lokalisiert, dieses stimmt mit Studien von Lykkesfeldt und Moller (1993) überein.

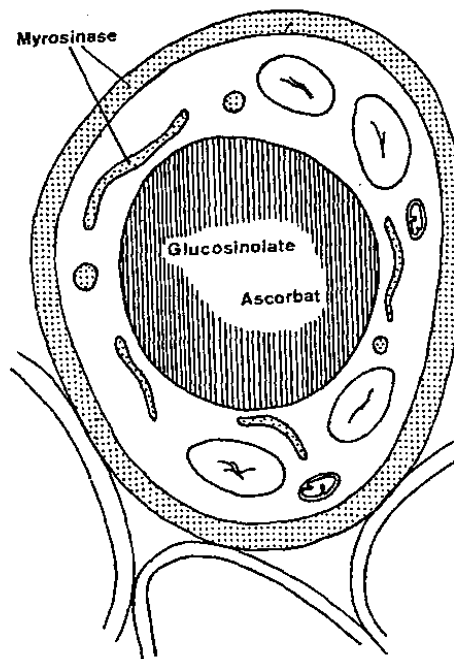


Abb. 2-6: Darstellung der Verteilung von Glucosinolaten, L-Ascorbinsäure (Effektor der Myrosinase) und Myrosinase in Parenchymzellen der Meerrettichwurzel (Matile 1980).

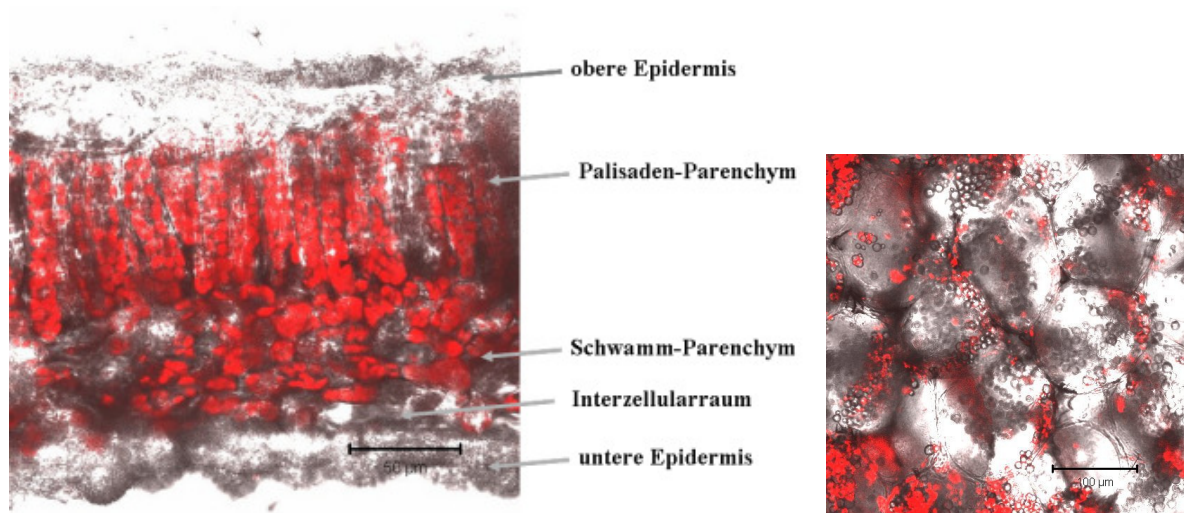


Abb. 2-7: Mikroskopischer Querschnitt eines Kapuzinerkresseblattes (links) und mikroskopischer Querschnitt eines Kapuzinerkressesamens (rechts).

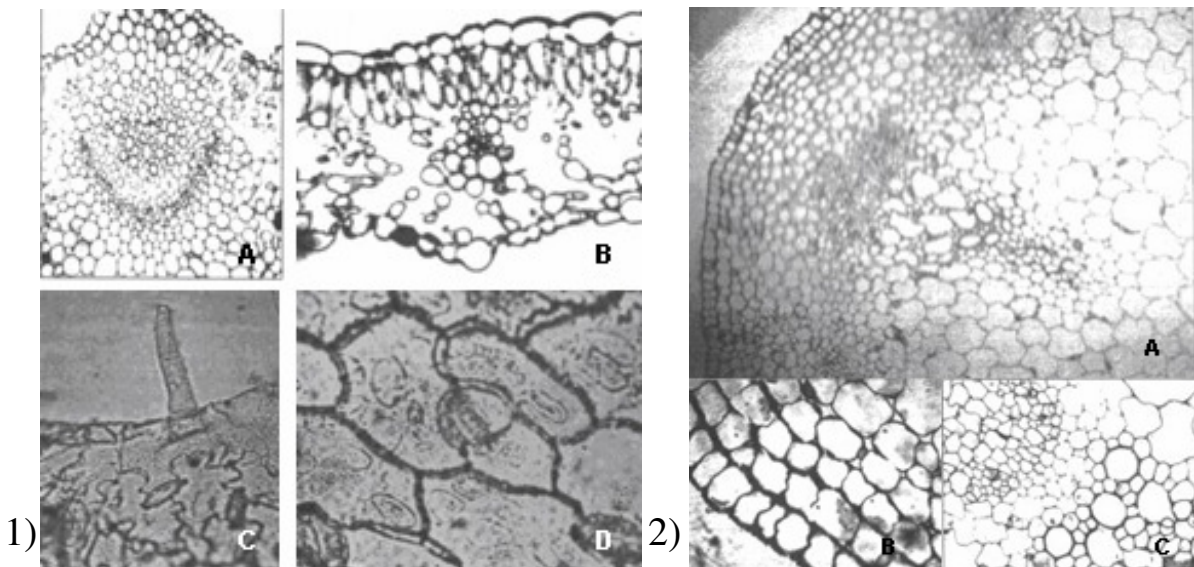


Abb. 2-8: 1) Querschnitt eines Kapuzinerkresseblattes: A Region am Blattnerve, B Region an einer Blattader, C Epidermis abaxial, D Epidermis adaxial (Zanetti et al. 2004); 2) Stängelquerschnitt der Kapuzinerkresse: A Gesamtansicht, B Epidermis, C Ligninbündel (Zanetti et al. 2004).

Die mikroskopische Analyse der Kapuzinerkresse von Zanetti et al. (2004) zeigte die allgemeinen mikroskopischen Charakteristika der Tropaeolaceae (Metcalf und Chalk 1950, Castellani 1997). In der Kapuzinerkresse sind die vorhandenen Öle (Zanetti et al. 2004, nach Gattuso und Gattuso 1999, Abb. 2-9 A) in allen parenchymatischen Geweben nachweisbar. Anders bei anderen Spezies, wie den Lamiaceae (Lippenblütengewächse) und Piperaceae (Pfeffergewächse), bei denen flüchtigen Öle separat in Drüsenhaaren (Trichomen) vorliegen (de Albuquerque et al. 1998, Silva und Machado 1999). Zanetti et al. (2003) sehen zwischen der Quantität der Öle und der potent-antimikrobiellen Anwendung der Pflanze einen Zusammenhang. Auch die Abbauprodukte der Glucosinolate, die Isothiocyanate, konnten in

allen parenchymatischen Geweben mit Silbernitrat histochemisch nachgewiesen werden (Zanetti et al. 2004, Abb. 2-9 B). Das eingesetzte Reagens beendete die Hydrolyse zu Isothiocyanat (Costa 1982, Santa Cruz 1991), folglich lässt sich daraus der Reaktionsort lokalisieren.

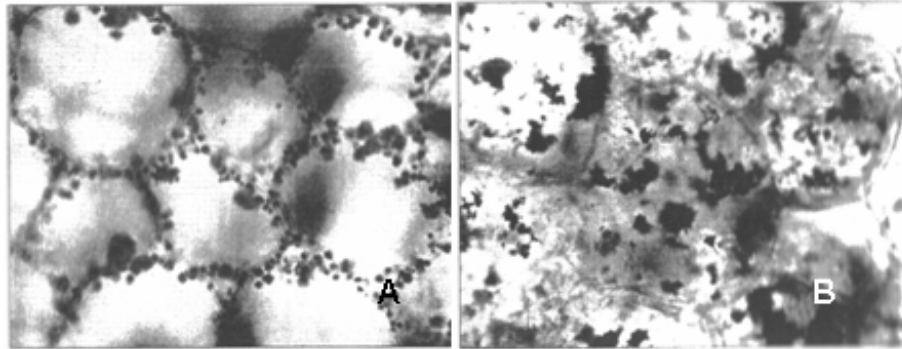


Abb. 2-9: A Flüchtige Öle (Färbung: Sudan III) im Kapuzinerkressestängel (Vergrößerung 400 x). B Isothiocyanate im Kapuzinerkressestängel (Färbung: Silbernitrat, nach Gattuso und Gattuso 1999, Zanetti et al. 2004).

Veränderungen der Pflanze durch Trocknung auf zellulärer Ebene

Durch die Trocknung wird die Zellkompartimentierung beeinflusst. Oberndorfer und Ebrahim-Sesbat (1999) wiesen am Beispiel von Rapssaat nach, dass die Behandlung mit Mikrowellen deutliche Veränderungen in der zellulären Mikrostruktur verursacht (Abb. 2-10). Die in den unbehandelten Proben intakten Aleuronkörner werden durch die angewendete Mikrowellenenergie beschädigt und in den Proteinkörpern bilden sich viele kleine Vesikel (Hinweispfeile, Abb. 2-10).

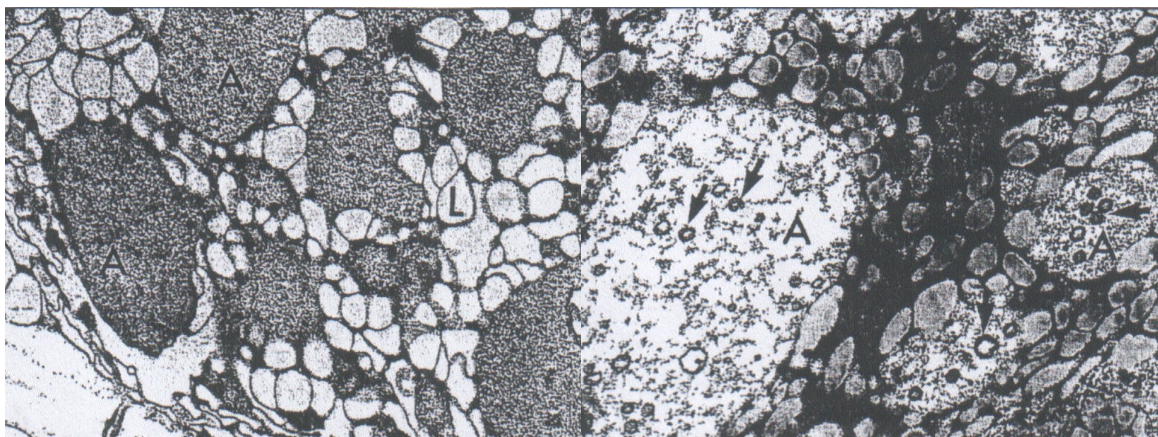
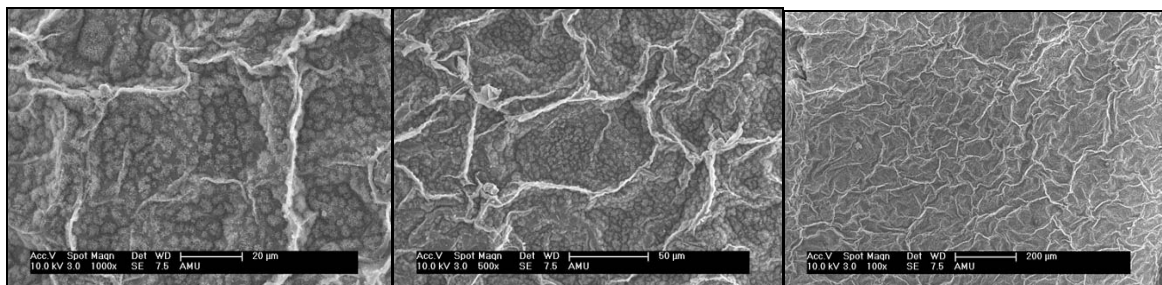
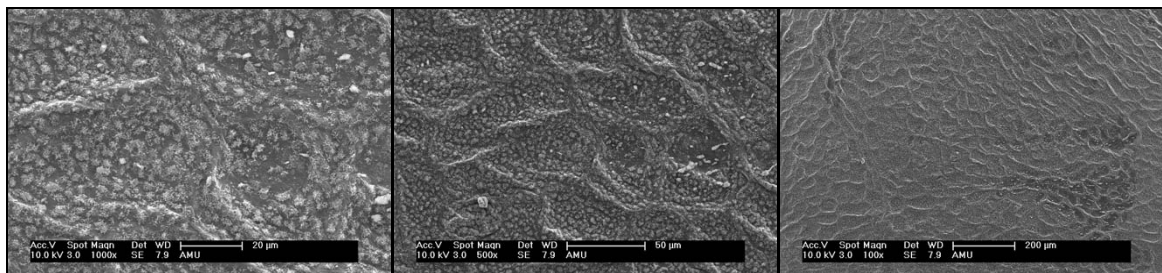


Abb. 2-10: Elektronenmikroskopische Aufnahme eines unbehandelten Rapskornes (links) und eines mikrowellenbehandelten Rapskornes (rechts, A: Aleuronkörner, L: Sphaerosomen, Oberndorfer und Ebrahim-Sesbat 1999).

Die Behandlung der Kapuzinerkresse mit unterschiedlichen Trocknungstechniken (u. a. Mikrowellenenergie) ist ein Teil dieser Arbeit. Und auch bei der Kapuzinerkresse lassen sich Veränderungen durch die Trocknung auf mikroskopischer Ebene sichtbar machen. In Abb. 2-11 ist durch elektronenmikroskopische Aufnahmen im Zusammenhang mit dem Verlust des so genannten Lotuseffektes (Barthlott et al. 2004) dokumentiert, wie sich die Blattoberfläche von Kapuzinerkresse nach der Trocknung verändert (Weigel 2005).



Getrocknete Kapuzinerkresseblätter (Vergrößerung: 1000 x, 500 x, 100 x)



Frische Kapuzinerkresseblätter (Vergrößerung: 1000 x, 500 x, 100 x)

Abb. 2-11: Elektronenmikroskopische Aufnahme der Oberflächenstruktur eines getrockneten und eines frischen Kapuzinerkresseblattes (Weigel 2005).

Die Veränderungen der Zellstruktur des Blattes während der Trocknung sind schlecht zu dokumentieren. Die Trocknung ist ein auf mikroskopischer Ebene unzureichend untersuchter Bereich (Kudra und Mujumdar 2002).

Pflanzenstress

Unter geringerer Wasserversorgung gewachsene Pflanzen sind oft kleiner als ausreichend versorgte, aber reicher an den charakteristischen Geschmacksstoffen. Die großen Geschmacksdifferenzen, die entstehen, können nicht nur Verdünnungseffekten zugeschrieben werden, vielmehr muss von einer Schutzreaktion ausgegangen werden, mit der die Pflanze auf die Störung der optimalen Lebensbedingungen reagiert: Es gibt eine Reihe von Hinweisen in der Literatur, dass die Pflanzen, die Stress in Form von Nährstoff- und Wassermangel

unterworfen sind, einen abnorm hohen Gehalt bestimmter Metabolite akkumulieren (Gauch und Eaton 1942, Steinberg et al. 1950, Henrici 1952, Coic und Lesaint 1960).

Neben physikalischen Barrieren (Trichome, Haare, Stacheln, Dornen, Wachsschicht), die die Pflanzen ausbilden, und den abiotischen Stressoren, denen die Pflanze ausgesetzt ist, wie Frost, Wassermangel, Lichtmangel oder -überschuss und Schwermetalle (Levitt 1980, Beck und Lüttge 1990, Brodschelm 1995), entwickeln höhere Pflanzen chemische Abwehrsubstanzen, wie z. B. Gucosinolate, die vorab vorhanden sind und dadurch eine präinfektionelle Abwehr darstellen. Pflanzenstress kann sich so auf die Produktion der Aromakomponenten und deren Vorstufen auswirken, die das Geruchs- und Geschmacksbild beeinflussen.

GABA (γ -Aminobuttersäure) als Nachweis von Pflanzenstress

Aminosäuren, die primären Produkte der anorganischen Nitratassimilation und die Vorläufer von Proteinen und Nukleinsäuren und andere lösliche stickstoffhaltige Verbindungen spielen eine essentielle Rolle im Pflanzenmetabolismus. Auf den Wasserentzug während der Trocknung reagiert die Pflanze mit einer physiologischen Antwort, in dem sich die Konzentration und Zusammensetzung von Prolin, Asparagin und Glutamin ändert als Antwort auf osmotischen oder Trockenstress der Blätter (Stewart und Larher 1980). Die durch enzymatische Decarboxylierung von Glutaminsäure gebildete GABA (γ -Aminobuttersäure) zählt im Pflanzenreich zu den geläufigen Stressmetaboliten (Wallace et al. 1984) und liegt in Pflanzen im Pool der freien Aminosäuren vor. Das Vorkommen von GABA in Pflanzen wurde 1949 von Steward et al. beschrieben. GABA wird immer wieder im Zusammenhang mit Stressinduktion von pflanzlichen Geweben untersucht. Shelp et al. (1999) bieten dazu einen Review. Eine entsprechende Stressantwort wurde bei Kaffee in Form einer Akkumulation von GABA bereits von Bytof (2003) nachgewiesen. GABA dient der Pflanze möglicherweise auch als Fraßschutz, Stickstoffspeicher oder Osmotikum. Als Stressfaktoren, die zur GABA-Akkumulation führen, werden Hitze und Kälteschock, mechanische Verletzung, die Behandlung mit Säuren und Sauerstoffmangel genannt (Shelp et al. 1999).

3 Material und Methoden

3.1 Feldversuche

In den Sommermonaten der Jahre 2004, 2005 und 2006 wurden Feldversuche auf dem Gelände der FAL in Braunschweig (E 10° 27'; N 52° 18') durchgeführt. Der Boden ist überwiegend eine Parabraunerde aus schluffig-lehmigem Sand (< 6,5 % Ton; > 47 % Sand). Das Klima ist als humid anzusprechen mit einer Temperaturmittleren von 9,0 °C und einer Niederschlagsmenge von 619 mm im Jahresmittel. Die Abb. 3-1 zeigt eine Luftbildaufnahme des Versuches von 2005.

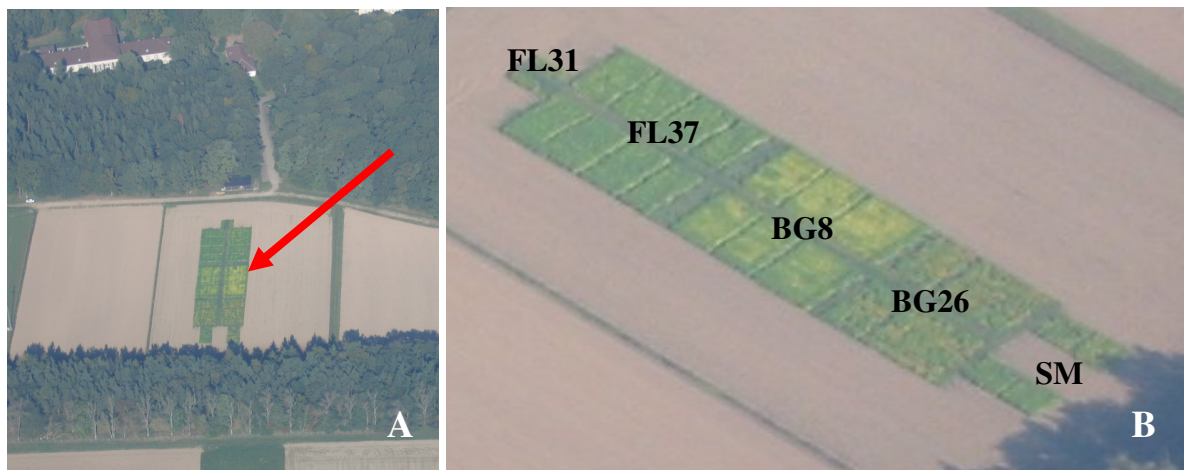


Abb. 3-1: A Luftbildaufnahme des Standortes der Feldversuche mit Kapuzinerkresse (12.10.05, FAL), B Anordnung der Pflanzenklone (FL31, FL37, BG8, BG26) und der Saatmischung (SM) auf dem Versuchsfeld 2005.

Die Pflanzen

Neben einer handelsüblichen Saatmischung von *T. majus nanum* (L.) (Florensis, Stuttgart), die bereits im Versuchsjahr 2004 ausgesät wurde, wurden in den Jahren 2005 und 2006 zusätzlich Pflanzenklone der Kapuzinerkresse ausgepflanzt. Diese wurden aufgrund ihrer hohen GTL-Gehalte und geringen Myrosinaseaktivität im Gefäßversuch ausgewählt und von dem Institut für Pflanzenkultur in Schnega *in vitro* vermehrt und für 6 Wochen nach der Bewurzelung im Gewächshaus in leicht aufgedüngtem Torfsubstrat (Einheitserde Typ P) akklimatisiert (Abb. 3-2).



Abb. 3-2: Akklimatisierung der Kapuzinerkressepflanzenklone im Gewächshaus.

Bodenbearbeitung



Abb. 3-3: Bodenbearbeitung vor der Pflanzung.

Vor der Pflanzung wurde der Feldboden gepflügt, anschließend gegubbert und auf dem lockeren Boden Reihen im Abstand von 30 cm für die Handpflanzung vormarkiert (Abb. 3-3). Die Biomasseunterschiede der Kapuzinerkressepflanzen bei verschiedenen Pflanzabständen (30 und 60 cm) und die GTL-Gehalte der Pflanzen wurden untersucht.

Versuchsanlagen

Für den Feldversuch im Jahr 2004 wurde auf einer Fläche von 156 m² eine Mischung von Kapuzinerkressesamen (Fa. Florensis, Stuttgart) ausgesät. Bei der Anordnung war die Unterscheidung in der Schwefelversorgung maßgebend, so dass das Versuchsfeld geteilt wurde. Eine Hälfte (78 m²) wurde mit 100 kg/ha S gedüngt, die andere Hälfte blieb mit 0 kg/ha S ungedüngt. Das gesamte Feld erhielt eine Stickstoff-Düngung von 100 kg/ha N. Als S-Dünger wurde Kumulus[®] (WG 80 %) und als N-Dünger Kalkalmonsalpeter (KAS, 27 % Ammoniumnitrat) verwendet.

Im Versuchsjahr 2005 wurden auf einem Feld (1267 m²) die Genotypen FL31, FL37, BG8 und BG26 angepflanzt. Eine Saatmischung (Fa. Florensis, Stuttgart) wurde weiterhin zu Vergleichszwecken angebaut. Mit dem verwendeten nicht selektierten Pflanzenmaterial der Saatmischung wurde untersucht, mit welchen Kultivierungsmethoden und Kulturbedingungen

(Pflanzabstand, Düngeregime) die besten Ernteaussbeuten (hoher GTL-Gehalt) erreichbar sind; ebenfalls wurde die Biomasse bestimmt.

Alle Parzellen erhielten wie im Vorjahr 100 kg/ha N. Der Aufbau des Feldes bot die Möglichkeit, verschiedene Versuchsparameter zu untersuchen, die den GTL-Gehalt der Kapuzinerkresse sowie die Entwicklung der Biomassezunahme der Pflanzen beeinflussen. Die Anordnung sah Unterschiede in der S-Versorgung aller Pflanzen (0 und 100 kg/ha S) vor. Der Saatabstand der Saatmischung (30 x 30 cm und 60 x 60 cm) wurde variiert. Die genotypischen Merkmale der Pflanzenklone (FL31, FL37, BG8, BG26) wurden erstmals im Feldversuch verglichen. (Abb. 3-4).

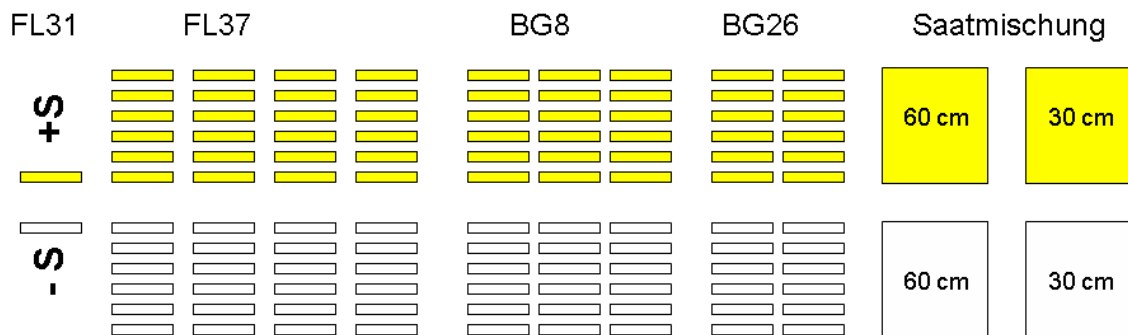


Abb. 3-4: Feldversuchsanordnung 2005. Die Genotypen FL31, FL37, BG8 und BG26 wurden im Abstand von 30 cm ausgepflanzt. Eine Saatmischung wurde zum Vergleich ausgesät. FL37, BG8, BG26: Pflanzenklone, Standort im Screening: FL: Freiland Botanisches Institut, BG: Versuchsfläche Botanischer Garten. Die Nummern 8, 26 und 37 stammen von den Bezeichnungen der GTL-reichen Mutterpflanzen aus dem Screening.

Im dritten Versuchsjahr 2006 wurden nochmals zwei Genotypen (FL37 und BG8) der Kapuzinerkresse auf einer Fläche von rund 450 m² angebaut. Damit konnte die Stabilität der Klone geprüft und die einheitlichen genotypischen Merkmale für die Versuche genutzt werden. Die Pflanzenklone wurden in unterschiedlichen Abständen (30 und 60 cm) gepflanzt und eine Saatmischung (Fa. Florensis, Stuttgart) gesät (Abb. 3-5). Alle Parzellen erhielten eine ausreichende Versorgung mit 100 kg/ha S und 100 kg/ha N.



Abb. 3-5: Feldversuchsanordnung 2006. Die Genotypen FL37 und BG8 wurden gepflanzt, eine Saatmischung zum Vergleich ausgesät. Die Feldgröße betrug ca. 450 m². Eine Beregnung erfolgte nach Bedarf. FL37, BG8, BG26: Pflanzenklone, Standort im Screening: FL: Freiland Botanisches Institut, BG: Versuchsfläche Botanischer Garten. Die Nummern 8, 26 und 37 stammen von den Bezeichnungen der GTL-reichen Mutterpflanzen aus dem Screening.

In Tab. 3-1 sind die Versuche, die in den einzelnen Versuchsjahren durchgeführt wurden, zusammengefasst. Im Folgenden werden diese Versuche ausführlicher beschrieben.

Tab. 3-1: Versuchsgliederung der einzelnen Jahre.

Versuchsjahr	Versuchsaspekte
2004	Schwefelversorgung
	Trocknungstechnik
2005	Blattfläche
	Entwicklung der Biomasse
	Genotypische Unterschiede
	Schwefelversorgung
	Saatabstand
2006	Trocknungstechnik
	Blattfläche
	Entwicklung der Biomasse
	Genotypische Unterschiede
	Pflanzabstand
	Trocknungstechnik

Pflanzung

Es wurden gut entwickelte Jungpflanzen mit rund 20 Blättern direkt in den Feldboden gepflanzt (Abb. 3-6). Die Auspflanzung der Pflanzen erfolgte jedes Jahr nach den „Eisheiligen“ Ende Mai.



Abb. 3-6: Pflanzung der Pflanzenklone auf einem Versuchsfeld der FAL (24.5.05, Foto: Dr. S. Knopp).

Die Handpflanzung gewährleistete besser als eine Pflanzmaschine, dass die Kapuzinerkresse gleichmäßig und unverletzt gepflanzt werden konnte. Ein durchfeuchteter Wurzelballen und die Beregnung des Feldes begünstigten die gute Entwicklung der Pflanzen im Feld.

3.2 Probennahme und -aufbereitung

Die manuelle Ernte von den Tropaeolumblättern gewährleistete ein homogenes Versuchsmaterial. Die Stängel wurden wegen ihres höheren Wassergehaltes dicht unterhalb der Blattunterseite entfernt.

Proben ganzer Kapuzinerkressepflanzen wurden dicht über dem Boden ohne Wurzeln aus der Erde gedreht und zur Bestimmung des Frisch- und Trockengewichtes in ihre Pflanzenorgane zerlegt und diese anschließend separat getrocknet.

Die trockenen Proben wurden in einer Schwingmühle (Typ RS1, Fa. Retsch) fein gemahlen (< 1,2 mm), größere Proben wurden mit einer anderen Mühle (Typ UZ2, Fa. Brabenda) vermahlen. Die Dauer des Mahlens betrug für Blätter 10 und für Samen 20 Sekunden.

Die trockene und wasserfreie Lagerung in Exikatoren verhinderte eine Aktivierung des Glucosinolat-Myrosinase-Systems im Trockengut und garantierte eine konstante Qualität der Proben.

3.3 Variation der Versuchsparameter

Um ein für die Phytopharmazie nutzbares Rohprodukt zu ernten, wurden neben dem Anbau und der Nachernte der Kapuzinerkresse die Parameter Blattgröße, Lagerungsdauer, Trocknungstemperatur und Probengröße variiert.

Bestimmung der Blattfläche

Für die Blattflächenbestimmung gibt es verschiedene Verfahren, mit Hilfe des Fotokopierers und einer Feinwaage ließ sich die Blattfläche der geernteten Kapuzinerkresseblätter exakt ermitteln, dazu wurden die Blätter sauber ausgelegt, kopiert und genau ausgeschnitten. Es wurde eine Kalibriergerade mit Quadraten aus Kopierpapier mit einer definierten Fläche und entsprechendem Gewicht erstellt (Abb. 3-7). Über das Gewicht des Papiers konnte die Blattfläche genau bestimmt werden. Neben Frisch- und Trockenmasse wurden die GTL-Gehalte der, in kleine, mittlere und große Blätter eingeteilte, Kapuzinerkresseblätter gemessen und verglichen.

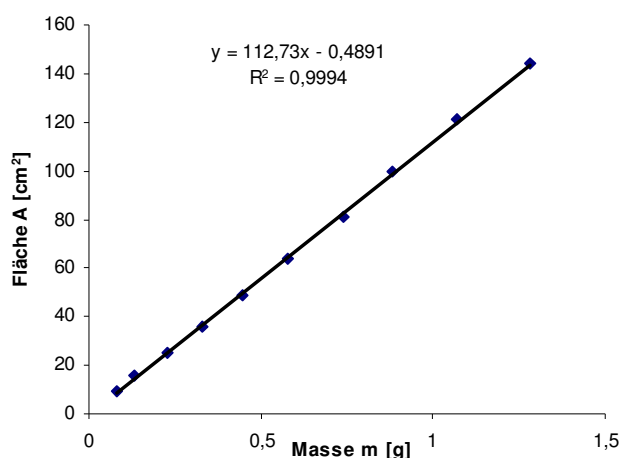


Abb. 3-7: Kalibrierungsgerade zur Bestimmung der Blattfläche der Kapuzinerkresseblätter.

Untersuchung der Lagerungsfähigkeit der Kapuzinerkresse nach der Ernte

Es wurde untersucht, wie sich frisch geerntete Kapuzinerkresseblätter bei der Lagerung bezüglich ihres GTL-Gehaltes verhielten. Kapuzinerkresseblätter wurden nach der Ernte bei Raumtemperatur aufbewahrt und in stündlichen Zeitabständen in Trockenschränke (40 °C) überführt. Es wurde geprüft, wie wichtig der schnelle Transport die Pflanzenproben vom Feld in die Trockenschränke ist, um Aussagen über die Transportfähigkeit treffen zu können. Bei diesem Lagerungsversuch wurde außerdem getestet, wie sehr eine Verletzung der

Blattoberfläche den GTL-Gehalt beeinflusst. Dazu wurden frische Blattproben bei der Ernte in der Hand leicht gerieben und damit die Oberflächen zerstört.

Bestimmung der Trocknungstemperatur

Um zu beurteilen, welche Trocknungstemperatur am besten für den GTL-Erhalt der Kapuzinerkresseblätter eignet ist, wurden frisch geerntete Blätter bei 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C und 80 °C im Trockenschrank mit Frischluftzufuhr getrocknet.

Variabilität der Daten

Die Reproduzierbarkeit der Daten wurde durch Variation der Probenmenge überprüft, dazu wurden 10 und 80 gesunde Blätter geerntet. Da diese Versuche in engem Zusammenhang mit weiteren Untersuchungsparametern, wie der Kapazität der Trockenschränke, stehen, werden sie nicht unabhängig davon betrachtet und in einem gesonderten Kapitel (4.6) am Ende des Ergebnisteils dargestellt.

3.4 Trocknungsverfahren

Der Einfluss der Trocknung auf den GTL-Gehalt der Kapuzinerkresseblätter wurde mit verschiedenen als schonend geltenden Trocknungstechniken untersucht. Technisch unterscheidet man Trockenschränke nach Funktionsweise, Bauart oder Füllgut. In ihrer Funktion unterscheiden sich Kontakttrockner, in denen die Pflanze ihre Feuchtigkeit durch Kontakt mit einer Heizfläche verliert und Konvektionstrockner, in denen das zu trocknende Gut mit der heißen Trocknungsluft in Kontakt tritt. Im Folgenden werden die verwendeten Geräte und Methoden erläutert.

3.4.1 Gefriertrocknung

Bei der Gefriertrocknung (Lyophilisation oder Sublimationstrocknung) wird die Probe in gefrorenem Zustand getrocknet. Sie wird abgekühlt, bis sie vollständig zu Eis gefriert und in der Vakuumkammer einem Unterdruck ausgesetzt, wodurch das Wasser (Eis) sublimiert und gasförmig wird, somit wird der gefrorenen Lösung das Wasser entzogen. Die starre Eisstruktur erhält die festen Komponenten der Zelle in ihrer Anordnung. Für die Trocknung in der Gefriertrocknungsanlage (Fa. Christ, Typ Gamma 1-20) wurden die Pflanzenproben direkt nach der Ernte auf dem Feld in flüssigem Stickstoff schockgefroren und anschließend gefriergetrocknet. Die Trockenkammer und der Kondensatorraum standen unter Vakuum, das Wasser lagerte sich am Kondensator in Form von Eis ab. Das getrocknete Pflanzenmaterial konnte nach 5 - 10 Tagen entnommen werden.

Außer der Gefriertrocknungsanlage (Fa. Christ, Typ Gamma 1-20) des Institutes wurden zum Vergleich Gefriertrocknungsanlagen im Institut für Pflanzenbau der FAL und des Instituts für Pflanzenbiologie der TU Braunschweig genutzt.

3.4.2 Frischlufttrocknung im Trockenschrank

Die Trocknungsgeschwindigkeit der Lufttrocknung wird von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und der effektiven Oberfläche des Trockengutes bestimmt. Die Pflanzenproben wurden in einem Trockenschrank bei 40 °C mit Frischluftzufuhr getrocknet. Durch diese schonende Trocknung blieb die Blattstruktur weitestgehend erhalten und unverletzt. Die Dauer des Trocknungsprozesses hing vom unterschiedlichen Wasseranteil der Pflanzenorgane (Stängel > Blätter > Samen) ab. Die Frischluftzufuhr vermied eine Kondensatbildung.

3.4.3 Hordentrocknung

Bei der Hordentrocknung besteht ein offenes System und es kann aktiv im Luftstrom getrocknet werden. Bei der einfachen Hordentrocknung (HTa) wurden die Blätter der Kapuzinerkresse in einer Horde (Drahtkorb) mit 50 °C warmer Luft durchströmt und getrocknet (Abb. 3-8). Um Verluste durch den starken Luftstrom zu vermeiden, wurde die Horde mit Gaze abgedeckt.

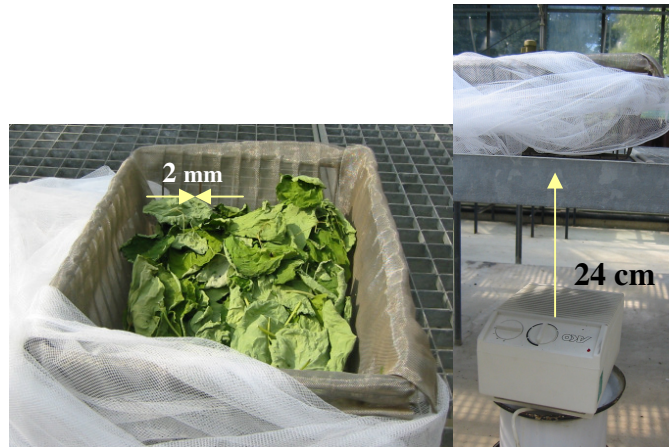


Abb. 3-8: Einfache Hordentrocknung (HTa). Die Temperatur im Trockengut betrug bei einer Schütthöhe von 3 - 5 cm 50 °C. Maschenweite des Drahtgeflechtes: 2 mm. Entfernung zum Heizgebläse: 24 cm.

Ein ähnlicher Aufbau wurde im Versuchsjahr 2006 verwendet. Die verbesserte Hordentrocknung (HTb) bot die Möglichkeit zusätzlich den Abstand zum Gebläse zu variieren. Der Trockner bestand aus drei Ebenen mit Lochboden, die warme Luft konnte gleichmäßig in den Trockenraum einströmen (Abb. 3-9). Mit zunehmendem Abstand zum Heizgebläse konnte so auf drei Ebenen zeitgleich bei verschiedenen Temperaturen getrocknet und der GTL-Gehalt verglichen werden.

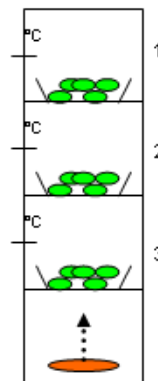


Abb. 3-9: Verbesserte Hordentrocknung (HTb, schematisch dargestellt).

3.4.4 Kondenstrocknung

Bei der Kondenstrocknung wird die durch das zu trocknende Gut mit Feuchtigkeit angereicherte, warm-feuchte Luft im Kondensator durch kühle Umgebungsluft abgekühlt, sodass das kondensierte Wasser abgeführt werden kann.

Für den Trocknungsversuch von Kapuzinerkresseblättern wurde ein handelsüblicher Kondenstrockner für Wäsche dahingehend modifiziert, dass das Gerät bei einer konstanten Temperatur von 40 °C im Dauerbetrieb laufen konnte.

Die Blattproben wurden in den Versuchsjahren auf unterschiedliche Weise getrocknet. Im Jahr 2004 wurden die Blätter auf einem Karton fixiert und so beinahe berührungsfrei getrocknet. Da durch permanentes Umwälzen in der drehenden Trommel die wirksame Oberfläche des Pflanzenmaterials vergrößert wird, wurden im Versuchsjahr 2005 die Blätter nicht befestigt. Zur Unterscheidung der Proben wurden Papiertüten verwendet. Die Luftzirkulation sollte im darauffolgenden Jahr 2006 verbessert werden, indem luftdurchlässige Wäschebeutel als Behälter während des Trocknungsvorganges verwendet wurden. Ein Zusammenballen des noch feuchten Materials sollte verhindert werden. Die Trocknungsdauer betrug bei allen Verfahren 24 h.

3.4.5 Mikrowellentrocknung

Beim Einsatz der Mikrowelle wird die Wärme dort zugeführt und selektiv getrocknet, wo das Produkt reich an Wasser ist, eine selbstregulierende Eigenschaft der Mikrowellentrocknung (auch Levelling-Effekt genannt) (Regier 2005). Durch die dielektrische Erwärmung mit Mikrowellen wird die Probe direkt entfeuchtet. Elektrische Dipole wie Wasser orientieren sich bei Anwesenheit eines elektrischen Feldes entlang der Feldrichtung (www.pueschner.com) und führen Rotationsschwingungen im Takt des hochfrequenten Wechselfeldes aus (Turner 1992). Die hierbei entstehende Reibungswärme trocknet die Pflanze von innen nach außen. Alle Bereiche des Materials werden durch die Mikrowellenenergie unmittelbar erreicht (Jones und Rowley 1996). Ein Aufheizen des Trockenraumes entfällt, die Wärmeerzeugung im Inneren des Trockengutes ist der entscheidende Unterschied der Mikrowellentrocknung zu anderen Trocknungsverfahren (Heindl 2003a). Dort kommen oft im fortgeschrittenen Stadium der Trocknung Wärme- und Stofftransportwiderstände vor und begrenzen die Geschwindigkeit der Trocknung. Die Geschichte der Anwendung von Mikrowellenenergie mit den Vor- und Nachteilen der

Mikrowelle gegenüber den konventionellen Techniken wird in Schubert und Regier (2006) beschrieben.

Da die Trocknungstechnik als schonend für Kräuter bekannt ist, wurde geprüft, ob sich die Mikrowellentrocknung für Kapuzinerkresseblätter eignet. Im Versuch wurden einzelne Blätter 2 min bei drei Geräteleistungsstufen (HCM-Haushaltsmikrowelle MMG-7117S, 1000 W) getrocknet. Dabei wurde wie in Cesare et al. (2003) vorgegangen und die Blätter auf Papiertüchern in das Gerät gestellt. So konnte auftretendes Kondenswasser aufgenommen und ein Anheften der trockenen Probe an die Unterlage vermieden werden.

3.4.6 Vakuumtrocknung

Bei der Vakuumtrocknung wird das Trockengut einem Unterdruck ausgesetzt und damit der Siedepunkt herabgesetzt. Anwendung findet das Verfahren vor allem bei hitzeempfindlichen Lebensmitteln. In einem Vakuumtrockenschrank (Abb. 3-10) wurden die Pflanzenblätter bei 40 °C unter Vakuum (einem Druck unter 300 hPa) getrocknet. Der verminderte Druck beschleunigte das Verdampfen des Wassers. Der dabei aus den Kapuzinerkresseblättern entweichende Wasserdampf schlug sich an der Frontscheibe des Gerätes nieder und musste regelmäßig entfernt werden.



Abb. 3-10: Vakuumtrockenschrank

3.4.7 Mikrowellenvakuumtrocknung

Die Mikrowellenvakuumtrocknung ist das Resultat von Versuchen, eine neuartige Trocknungsmethode einzuführen, die nicht nur die Produktqualität verbessert sondern auch ökonomisch effizient ist (Sankat et al. 1996, Yongsawatdigul und Gunasekaran 1996, Venkatachalapathy und Raghavan 1997, Erle und Schubert 2001). Mikrowellenstrahlung kombiniert mit geringem Druck verursacht eine sofortige Verdunstung von Feuchtigkeit. Sie

bietet die Möglichkeit zur Erzeugung qualitativ hochwertiger Trocknungsprodukte (Drouzas und Schubert 1996, Kaensup et al. 2002) und sie kann in Kombination mit konvektiver Trocknung alternativ zur Gefriertrocknung eingesetzt werden (Kudra und Mujumdar 2002, Oliveira und Franca 2002, Cui et al. 2004).

In Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Regier des Instituts für Lebensmittelverfahrenstechnik der Universität Karlsruhe konnte die Mikrowellenvakuumtrocknung getestet werden. Es wurde gesondert für den Versuch Kapuzinerkresse des Genotyps FL37 im Gewächshaus kultiviert, um gesunde und transportfähige Pflanzen in Karlsruhe beproben zu können.

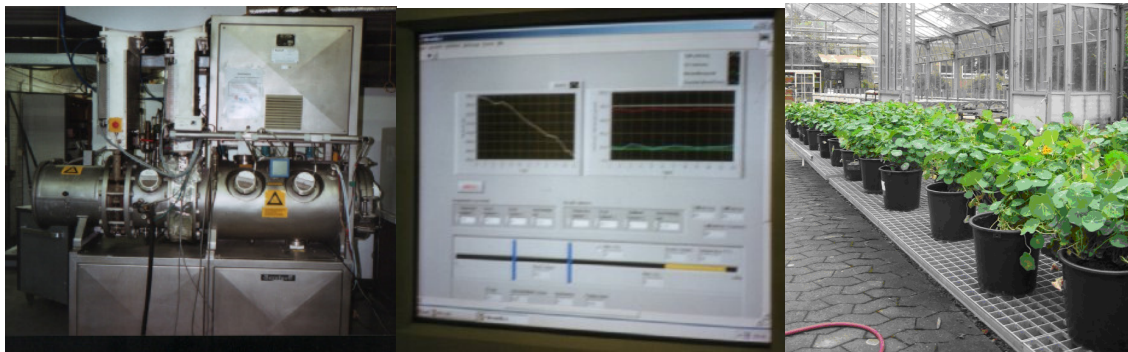


Abb. 3-11: Mikrowellenvakuumtrocknungsanlage der Universität Karlsruhe und verwendete Kapuzinerkresse.

In der semigroßtechnischen Trocknungsanlage (Abb. 3-11) konnten zeitgleich ca. 300 g Frischmasse (zwei Topfpflanzen) getrocknet werden. Es muss hierbei eine kompakte Probe hergestellt werden, dazu wurden die Pflanzen fest umschnürt. Zwei Varianten der Parameter Leistung und Druck wurden getestet (Tab. 3-2).

Tab. 3-2: Variierte Parameter bei der Mikrowellenvakuumtrocknung.

Termin	Vakuum	Geschwindigkeit v [m/min]	Fahrten	Leistung P [W]	Druck p [hPa]
22.08.06	ja	2	100	40	50
24.08.06	ja	2	20	80	50
			80	40	

Die Probe wurde in dem unter Vakuum stehenden Mikrowellenfeld auf einem Wagen hin und her bewegt. Nach jeder Fahrt durch die Mikrowellenstrahlung wurde die Probe in einer in dem Gerät eingebauten Waage auf seine Gewichtskonstanz und damit auf seine Trockenheit überprüft (Abb. 3-12).

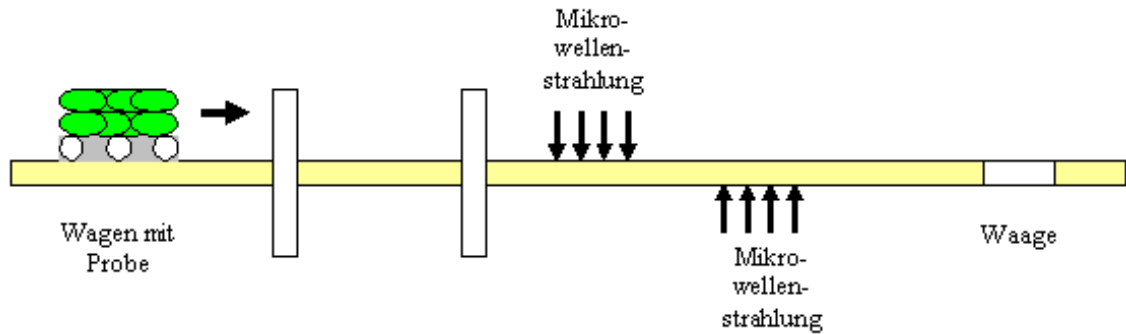


Abb. 3-12: Schematischer Aufbau der Mikrowellenvakuumanlage Karlsruhe. Die Pflanzenprobe durchlief eine Schleuse und wurde dann unter Vakuum durch zwei Mikrowellenfelder bestrahlt. Am Ende einer Fahrt wurde von einer Waage das Gewicht des Trockengutes bestimmt.

Es wurde geprüft, ob die Mikrowellenvakuumtrocknung für die Kapuzinerkresse geeignet ist. Als Referenz Trocknung dienten zwei andere Trocknungstechniken, zeitgleich wurden in Braunschweig Kapuzinerkressenpflanzen des gleichen Genotyps und des gleichen Entwicklungsstadiums im Trockenschrank bei 40 °C getrocknet und in flüssigem Stickstoff schockgefroren und gefriergetrocknet.

3.5 Chemische Analysen

Es wurde der GTL-Gehalt im getrockneten Pflanzenmaterial bestimmt und geprüft, ob die Proben ausreichend Wirkstoff (empfohlene Tagesdosis: 130 - 260 mg GTL, Monografie der Kommission E 1992) zur Herstellung eines Präparates enthielten, dazu wurden chemische Analysen des Pflanzenmaterials durchgeführt.

3.5.1 Schwefel-Analyse

Mit Hilfe der Schwefelanalyse ist nachzuweisen, ob der durch die Düngung verfügbare Schwefel von der Pflanze aufgenommen wurde. Außerdem konnte der bestehende Schwefelgehalt zwischen den Versuchsjahren verglichen werden.

Der Gesamt-Schwefel-Gehalt der Pflanzenproben wurde durch optischen Emissionsspektrometrie mittels induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) gemessen (DIN EN ISO 11885). Zuvor wurden 500 - 1000 mg des gemahlten Pflanzenmaterials in einer Mikrowelle (S1200 mega) für 20 min mit einem Gemisch aus Salpetersäure (65 %) und Wasserstoffperoxyd (35 %) aufgeschlossen und mit bidestilliertem Wasser verdünnt und gefiltert. Bei der ICP-OES wird die Probe über ein Zerstäubersystem in ein induktiv gekoppeltes Argonplasma eingebracht. In dieser Anregungsquelle werden die Elemente bei einer Temperatur von 5000 - 7000 K atomisiert und zu Lichtemission angeregt. Die

Lichtintensität ist proportional der Menge der im Plasma angeregten Atome eines Elements. Zur quantitativen Bestimmung des S-Gehalts wird das Gerät mit synthetischen Lösungen bekannten Gehalts kalibriert.

3.5.2 Glucotropaeolin-Analyse

Der GTL-Gehalt der Kapuzinerkresseproben wurde mittels HPLC in Anlehnung an die EU Standard Methode (ISO 9167-1) für Desulphoglucosinolate gemessen (EEC Regulation 1864/90 1990). Die verwendeten Lösungen sind in Tab. 3-3 zusammengefasst.

Tab. 3-3: Überblick der benötigten Lösungen zur GTL-Analyse.

Lösungen	Herstellung
Eluent A	HPLC-Wasser (Gradient Grade), vakuumfiltriert
Eluent B	Acetonitril (20 %, Gradient Grade), vakuumfiltriert
DEAE Sephadex A-25 (Anion Exchanger)	10 g Sephadex A-25 mit Essigsäure (2 mol/l) mischen, im Verhältnis 1:2 mit Essigsäure (2 mol/l) auffüllen und vor Gebrauch kräftig schütteln
Imidazol (6 mol/l)	204 g Imidazol in wenig bidestilliertem Wasser lösen, 113 ml Ameisensäure dazu geben, abkühlen lassen mit bidestilliertem Wasser auf 500 ml auffüllen
Blei-Bariumacetat-Lösung	Gesättigte Lösung: 12,8 g Bariumacetat und 19 g Bleiacetat ad 100 ml bi-destilliertes Wasser
Methanol	70 %, Gradient Grade
Natriumacetat-Lösung	c = 0,02 mol/l, pH = 4,00 (pH-Wert täglich überprüfen)
Sulfatase	25 mg Sulfatase in 50 ml bedestilliertem Wasser lösen (Aktivitätsbestimmung mittels Photometer)
Sinigrin	c = 0,15 mmol/l, pH = 5,8 3 ml D in einen Maßkolben (100 ml) geben und mit C auffüllen A: 1 ml Eisessig ad 500 ml bidestilliertes Wasser B: 1 ml Ethylendiamin ad 500 ml bidestilliertes Wasser C: - 73 ml A und 40 ml B mischen - pH mit A und B einstellen D: 5 mmol/l Sinigrin

Aktivitätsbestimmung der Sulfatase

Die Aktivität der Sulfatase wurde photometrisch bestimmt. Eine Messküvette mit 2 ml Sinigrin und 50 µl Sulfatase wurde mit 2 ml Sinigrin in einer Referenzküvette verglichen. Gemessen wurde bei einer Wellenlänge von 229 nm und einer Temperatur von 30 °C. Die

Aktivität kann nach der Formel

$$\text{Aktivität} = \frac{\Delta A \cdot 5,7}{\Delta t}$$

bestimmt werden. Die Aktivität der Sulfatase sollte > 0,5 mmol/min·ml betragen.

Kalibration

Für die Aussagekraft der Analyse wurde der GTL-Gehalt im Vergleich mit einer Kalibrationskurve unter Verwendung von reinem GTL (Calbiochem-Novabiochem 347358) berechnet. Für die Kalibration wurde eine GTL-Stammlösung mit einer Konzentration von 1000 µmol/l verwendet. Die durch Verdünnung hergestellte Konzentrationsreihe (50 - 1000 µmol/l) wurde, wie die zu untersuchenden Rohextrakte über der Säule desulfatisiert. Die Geräteparameter der HPLC-Anlage und die Gradientenstufen und Zeiteinstellungen sind in Tab. 3-4 zusammengefasst. Die Berechnung des GTL-Gehaltes in µmol/g TM erfolgte nach folgender Formel:

$$\frac{\mu\text{mol GTL}}{\text{g TM}} = \frac{\text{gemessene } \mu\text{mol} \cdot 5 \text{ ml} \cdot \text{Verdünnung}}{\text{Einwaage} \cdot 1000}$$

Tab. 3-4: Parameter der HPLC-Messung

Säule	LiChroCART 125-4, RP-8 (5 µm) entsprechende Vorsäule					
Flussrate	1,0 ml/min					
Detektion	UV-Detektion (λ = 229 nm)					
Retentionszeit	12,8 - 13,3 min					
Schleife	20 µl					
Stoppzeit	20 min					
Gradientenstufen	1	2	3	4	5	6
Zeit [min]	0	2,5	15	18	19	20
Eluent A [%]	100	100	0	0	100	100
Eluent B [%]	0	0	100	100	0	0
HPLC-Anlage	Merck Hitachi D6000 Interface L6200A Intelligent Pump L4200 UV-Vis Detektor L7200 Autosampler Säulenofen (konstante T = 30 °C)					

Probenaufbereitung durch Extraktion

Es wurden 50 - 100 mg des trockenen, gemahlenen Pflanzenmaterials für die Aufbereitung eingewogen und 1 min bei 75 °C im Wasserbad geschüttelt, dann sofort mit 3 ml siedendem Methanol (70 %) versetzt, homogenisiert und 10 min bei 75 °C im Wasserbad geschüttelt. Zwischendurch wurde nochmal homogenisiert. Anschließend wurden die Proben erneut homogenisiert und 3 min bei 5000 rpm (1398 g) und 0 °C zentrifugiert. Diese Extraktion wurde wiederholt. In den vereinigten Überständen, wurden Proteine mit Bleibariumacetat gefällt und abzentrifugiert (3 min, 5000 rpm (1398 g), 0 °C). Der Überstand wurde mit Methanol (70 %) auf 5 ml aufgefüllt.

Desulfatisierung

Vor der Messung in der HPLC-Anlage, wurden die Proben desulfatisiert. Dazu wurde ein Anionenaustauscher DEAE Sephadex A-25 verwendet. Die Säulen wurden aus Pasteurpipetten mit Watte vorbereitet. Eine Säule setzte sich aus 0,5 ml DEAE Sephadex A-25, das zweimal mit 1 ml Imidazol und zweimal mit 1 ml Wasser (HPLC geeignet, Typ 1) versetzt wurde, zusammen. Die Watte ermöglichte ein langsames Durchtropfen der Lösungen. Die Säule wurde mit 1 ml des Rohextraktes, zweimal 1 ml Natriumacetatlösung (pH = 4,00) und 100 µl Sulfatase versetzt. Die Reaktion erfolgte im Dunkeln über Nacht. Anschließend wurde das GTL zweimal mit 1 ml Wasser (HPLC geeignet, Typ 1) von der Säule direkt in Probenbehälter für die HPLC-Messung eluiert. Die Proben waren zur Messung bereit oder konnten bei -20 °C gelagert werden.

Glucotropaeolinbestimmung mittels HPLC

Bei der HPLC handelt es sich um ein Verfahren der Säulen-Flüssigkeitschromatographie. Es stellt ein Trennverfahren dar, bei dem die Probenflüssigkeit mittels einer flüssigen Phase (Eluent) unter hohem Druck über die stationäre Phase (Trennsäule) transportiert wird.

In diesem Fall handelt es sich um eine Reversed-Phase- (Umkehrphasen-) Verteilungschromatographie. Dabei nutzt man verschiedene Löslichkeiten der zu trennenden Substanzen in den beiden Phasen. Anders als bei der Normalphasenchromatographie ist die mobile Phase polarer als die stationäre Phase.

Die Desulfoglucosinolate wurden in einer HPLC-Anlage mit UV Detektion gemessen. Es handelt sich um eine Gradientenelution, das heißt der Eluent wird während des Trennvorgangs veränderlich zusammengesetzt und die Fließmittelstärke erhöht. In Tab. 3-4 ist die Ausstattung der HPLC beschrieben, als Eluenten dienten Acetonitril (20 %) und

Wasser. Es wurde bei einer Wellenlänge von 229 nm gemessen (Spinks et al. 1984). Für die Trennung der Glucosinolate wurde eine LiChrospher RP-8 Säule (100 x 4 mm, 5 µm) verwendet.

3.5.3 Verfahren der Qualitätssicherung bei der Glucotropaeolinbestimmung

Eine Kontrollprobe und eine Kalibrierung eines Standards gewährleisteten die Aualität der Analysen. Es wurden homogene Proben hergestellt. Dazu wurden Kapuzinerkresseblätter, die über das ganze Feld verteilt genommen wurden, bei 40 °C im Trockenschrank mit Frischluftzufuhr getrocknet, vereinigt und zu einer Kontrolle vermahlen. Diese Probe wurde 10-mal eingewogen und der GTL-Gehalt 10-mal bestimmt. Es ergab sich nach 10-maligem Messen des GTL-Gehaltes ein Mittelwert von 28,14 µmol/g TM und eine Standardabweichung von 0,34 (Tab. 3-5). Die Kalibration des Standards (Calbiochem-Novabiochem 347358) ergab einen linearen Zusammenhang zur Peakfläche (Abb. 3-13). Die Kalibration erfolgte mit einem GTL-Standard (Calbiochem-Novabiochem 347358) in verschiedenen Verdünnungsstufen (50 - 800 µmol/g TM). Darüber hinaus wurde die Genauigkeit der Methode durch den Vergleich mit anderen Laboren verifiziert.

Tab. 3-5: GTL-Bestimmung von einer Kapuzinerkressekontrollblattprobe (n = 10, 2005).

Probe	Einwaage [g]	GTL-Gehalt [µmol/g TM]
1	0,0942	28,1
2	0,0906	28,6
3	0,0901	28,3
4	0,0907	28,1
5	0,0902	27,9
6	0,0903	28,2
7	0,0905	28,3
8	0,0905	27,6
9	0,0903	27,7
10	0,0909	28,6

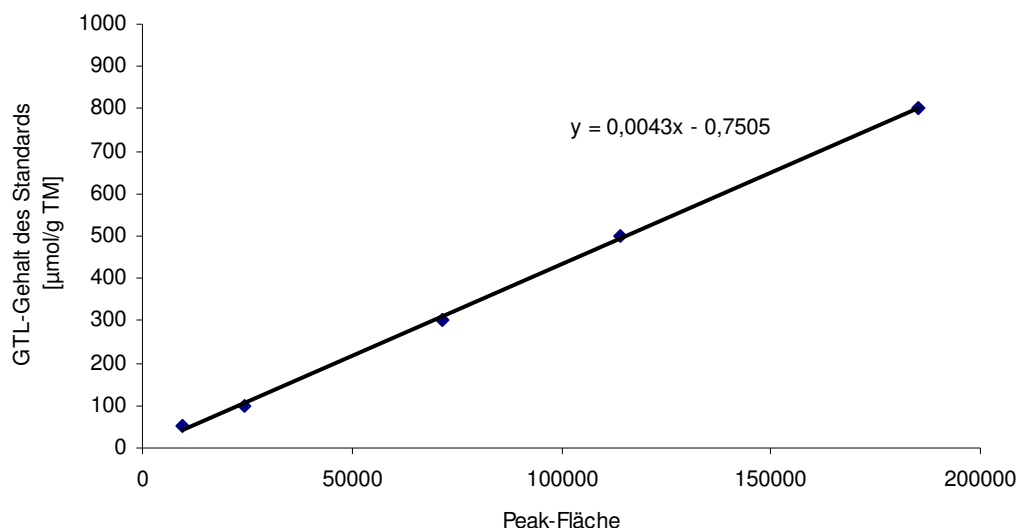


Abb. 3-13: Kalibration der GTL-Gehaltsbestimmung zur Qualitätssicherung der HPLC-Messung ($R^2 = 0,9993$).

3.5.4 Herstellung eines GTL-Konzentrates

Durch die Herstellung eines Extraktes aus getrocknetem Pflanzenmaterial wird das Aufkonzentrieren des Wirkstoffes möglich. Es wurde geprüft, inwieweit sich der GTL-Gehalt effizient erhöhen lässt. Dazu wurden 6 g gemahlenes Trockenmaterial der Kapuzinerkresse mit den verschiedenen Extraktionsmitteln versetzt (Tab. 3-6). Das Gemisch wurde für 15 min im Ultraschallbad inkubiert. Mit Hilfe eines Büchnertrichters wurde das übrige Pflanzenmaterial abgetrennt und anschließend dreimal nachextrahiert. Alle Überstände wurden vereinigt und über einen Rotationsverdampfer vom Lösungsmittel befreit und eingengt. Dieser Vorgang wurde fortgeführt bis grüne, lipophile Bestandteile ausfielen. Der Extrakt wurde erneut filtriert oder zentrifugiert bis die gewünschte Klärung der Lösung eintrat und danach mittels Gefriertrocknung von Restwasser befreit und getrocknet. Der Trockenextrakt wurde auf seinen GTL-Gehalt untersucht.

Tab. 3-6: Parameter der verschiedenen Extraktionen von GTL aus Kapuzinerkresse.

Extraktion	Pflanzenmaterial	Einwaage [g]	Extraktionsmittel	V _{Lösungsmittel} [ml]	V _{H₂O} [ml]
I	Blatt	6	Methanol	183	60
II	Blatt	6	Methanol	172	95
III	Samen	6	Methanol	172	95
IV	Blatt	6	Ethanol (96 %)	180	95

3.5.5 γ -Aminobuttersäure-Analyse

Möglicherweise kann Stress eine Erhöhung des GTL-Gehaltes der Pflanze auslösen. Um einen Einfluss der Trocknungsart auf den γ -Aminobuttersäure-(GABA)-Gehalt zu prüfen und damit eine mögliche Stressantwort in der Pflanze nachzuweisen, wurden der GABA-Gehalt im Pflanzenmaterial gemessen.

Extraktion von GABA aus Blättern mit SSA (Sulfosalicylsäure)

Nach der Einwaage von 0,1 g Blattmaterial in ein Zentrifugenglas wurden die Proben mit 25 ml SSA (Sulfosalicylsäure 4 % w/v) versetzt, um alle Proteine zu fällen und zu denaturieren, so dass weitere enzymatische Reaktionen ausgeschlossen werden konnten. Als interner Standard wurden zu jeder Probe 5 ml 1:250 verdünnter Norvalin-Lösung zugesetzt. Die Proben wurden 30 s mit Hilfe des Ultraturrax homogenisiert und für 10 min bei 4000 rpm (5366 g) zentrifugiert. Der Überstand wurde durch Pipettieren in einen 100 ml Messkolben überführt. Der Niederschlag wurde weitere dreimal auf gleiche Weise nachextrahiert. Die in einem 100 ml-Messkolben vereinigten Überstände wurden mit 4 % SSA auf das Endvolumen aufgefüllt. Aliquote der Proben wurden in Reaktionsgefäßen (Eppendorf, 1,5 ml) für 10 min (13000 rpm, 4 °C) zentrifugiert und nach Filtration über mit Watte gestopften Filterspitzen in 1,5 ml Reaktionsgefäße für die anschließende Derivatisierung und HPLC-Bestimmung eingesetzt.

3.6 Statistische Auswertung

Für alle gemessenen Daten wurde eine deskriptive Statistik durchgeführt. Zur statistischen Absicherung wurden einfaktorielle Varianzanalysen anfertigt, zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Proben, wurde ein Mittelwertsvergleich (Tuckey-Test) durchgeführt. Die Grenzdifferenz ($GD_{5\%}$) aller Mittelwerte wurde auf einem Signifikanzniveau von 5 % ermittelt und dieser Wert angegeben oder eine Signifikanz mit unterschiedlichen Buchstaben verdeutlicht. Ergaben sich keine Unterschiede in der Varianzanalyse, wurden im Text der $GD_{5\%}$ -Wert mit n.s. (nicht signifikant) gekennzeichnet. Die Signifikanzen wurden mit dem Statistikprogramm SPSS 12.0 für Windows berechnet.

4 Ergebnisse

Der GTL-Gehalt der Kapuzinerkresse (*T. majus*) wird vor allem durch klimatische Verhältnisse, das Wachstumsstadium und die Anbaumethode beeinflusst. Ein Schwerpunkt der Arbeit lag darin, den Anbau und die Nachernteverfahren der Arzneipflanze dahingehend zu optimieren, dass ein konstant hoher Mindestgehalt an GTL im Erntegut erzielt werden kann.

4.1 Einfluss unterschiedlicher Anbaubedingungen

Die Bedingungen für eine ertragreiche Ernte mit hohen Wirkstoffgehalten sind für Arzneipflanzen individuell verschieden. Das Glucosinolat-Muster einer Pflanzenart ist genetisch determiniert. Verschiedene Einflüsse können aber auf die Höhe des Glucosinolat-Gehaltes einwirken. In diesem Kapitel sind die Ergebnisse dargestellt, die zur Optimierung der Anbaubedingungen für Kapuzinerkresse erarbeitet wurden. Eine Schwefeldüngung und unterschiedliche Bestandesdichten beeinflussen den Gehalt des Glucosinolates GTL.

4.1.1 Schwefeldüngung

Der Einfluss der Schwefeldüngung auf den Schwefelgehalt in den Kapuzinerkresseblättern ist in Tab. 4-1 zusammengefasst. Mit Hilfe der Varianzanalyse konnte in den meisten Fällen ein signifikanter Unterschied zwischen den Düngevarianten im Schwefelgehalt der Blätter nachgewiesen werden (Tab. 4-1). Ein Jahresvergleich von 2004, 2005 und 2006 lässt erkennen, dass sich der Gesamt-S-Gehalt im Blattgewebe unterscheidet. In den Versuchspartzellen, die keinen zusätzlichen Schwefel erhielten, schwankte der Schwefelgehalt von 3,33 bis 8,16 mg/g.

Tab. 4-1: Schwefel-Gehalt in getrockneter Kapuzinerkresse.

Versuchsjahr	Pflanze	n	Gesamt S [mg/g TM] Blätter			Gesamt S [mg/g TM] Blüten		
			-S	+S	GD ₅ %	-S	+S	GD ₅ %
2004	SM	3	8,2	9,2	0,8	-	-	-
2005	FL37	3	5,9	5,9	n. s.	5,1	4,8	n. s.
	BG8	3	5,0	6,6	1,0	4,0	5,2	1,1
	BG26	3	4,9	4,0	n. s.	3,3	4,4	0,5
2006	FL37	10	-	6,9	-	-	-	-

n. s. nicht signifikant, - nicht untersucht, SM Saatmischung, FL37, BG8, BG26: Pflanzenklone, Standort im Screening; FL: Freiland Botanisches Institut, BG: Versuchsfläche Botanischer Garten. Die Nummern 8, 26 und 37 stammen von den Bezeichnungen der GTL-reichen Mutterpflanzen aus dem Screening.

Durch die zusätzliche Versorgung der Pflanze mit Schwefel, ist eine Erhöhung des GTL-Gehaltes zu erwarten. In Tab. 4-2 ist als Beispiel dargestellt, wie die Schwefelzufuhr im Versuchsjahr 2005 zu einer signifikanten Zunahme von GTL führte. Der GTL-Gehalt stieg bei dem Pflanzenklon FL37 um bis zu 21,9 $\mu\text{mol/g TM}$ in den Stängeln und Blättern relativ zur Kontrolle an, das ist eine Steigerung um 68 %.

In allen weiteren Untersuchungen der Versuchsjahre 2004 und 2005 wurden beide Varianten mit und ohne Schwefel betrachtet. So sind in den folgenden Kapiteln die Ergebnisse für -S und +S aufgeführt und an dieser Stelle lediglich das Beispiel der Tab. 4-2 erklärt.

Tab. 4-2: Vergleich der GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern mit und ohne Schwefeldüngung zu verschiedenen Beprobungsterminen (n = 3, TS 40 °C).

Datum	GTL-Gehalt der Kapuzinerkresseblätter [$\mu\text{mol/g TM}$]		GD ₅ %
	-S	+S	
23.06.05	27,5	21,0	3,3
08.07.05	12,0	15,4	n.s.
21.07.05	23,0	28,5	n.s.
04.08.05	17,7	24,3	n.s.
18.08.05	27,4	41,2	10,4
01.09.05	32,3	54,2	13,1

n. s. nicht signifikant

Der signifikant erhöhte GTL-Gehalt durch Schwefeldüngung in den Blättern und Samen von Kapuzinerkresse konnte nicht in allen Proben nachgewiesen werden. Das Beispiel aus der Tab. 4-2 zeigt, dass anfänglich der GTL-Gehalt der Kontrolle ohne zusätzliche Schwefelversorgung signifikant höher ist, aber zu späteren Terminen der signifikante Anstieg von GTL durch Schwefeldüngung deutlich erkennbar wird.

Es sei hier schon erwähnt, dass durch die Beregnung der neu gepflanzten Genotypen in den Jahren 2005 und 2006 dem Bestand zusätzlich mehr als 25 kg/ha S zugeführt wurden. Ein weiterer Grund für mögliche nicht signifikante Resultate können bereits über die Erde der Wurzelballen gut versorgte Jungpflanzen sein.

Auch die Biomasseentwicklung der angebauten Kapuzinerkresse in Abhängigkeit von der Schwefeldüngung unterschied sich nicht signifikant. In dem folgenden Kapitel 4.1.2 sind beide Schwefelstufen im Zusammenhang der Biomasseentwicklung bei zwei Saatabständen dargestellt und im Kapitel 4.3.2 werden die genotypischen Unterschiede der Trockenmassen im Zusammenhang mit der Schwefeldüngung gezeigt. Auch bei den Untersuchungen der Trocknungsverfahren des Jahres 2004 (Kapitel 4.5) wurde die Schwefelversorgung bei der Auswertung berücksichtigt.

4.1.2 Bestandesdichte

Für die landwirtschaftliche Produktion der Kapuzinerkresse ist die Bestandesdichte ein wichtiger Aspekt. Es wurde bestimmt, wie sich die Auspflanzung in zwei Abständen auf die Biomasseentwicklung (Tab. 4-3) und den GTL-Gehalt (Tab. 4-4) von Kapuzinerkresse auswirken.

Im Jahr 2005 wurde die Saatmischung (*T. majus nanum* L., Fa. Florensis Stuttgart) in den Abständen 30 und 60 cm ausgesät. Mittels der Biomassebestimmung wurden Wachstumsunterschiede der Pflanzen nachgewiesen (Tab. 4-3). Der GTL-Gehalt der Saatmischung blieb weitestgehend unverändert (Tab. 4-4) und die Schwefeldüngung wirkte sich nur vereinzelt signifikant auf die Pflanzenorgane aus.

Tab. 4-3: Biomassezunahme (Trockenmasse) der Pflanzenorgane einzelner Kapuzinerkressenpflanzen (Saatmischung) unterschiedlicher Saatabstände (30 und 60 cm), Schwefeldüngungen (0 und 100 kg/ha S) und zu verschiedenen Ernteterminen innerhalb der Vegetationsperiode des Versuchsjahres 2005 (n = 3, TS 40 °C).

Bestandes- dichte [cm]	Datum	Biomasse (TM) von Kapuzinerkresse [g]					
		-S			+S		
		Stängel	Blatt	Samen	Stängel	Blatt	Samen
30	23.06.05	0,2	0,4	-	0,5	0,2*	-
	08.07.05	3,0	4,3	-	5,8*	4,3	-
	21.07.05	12,0	9,0	-	9,4	6,3	-
	04.08.05	28,6	21,6	0,3	56,9*	34,0	0,0
	18.08.05	50,0*	22,3*	0,5	39,9	13,8	0,6
	01.09.05	40,6*	13,7	1,1	117,9	36,3*	1,5
60	23.06.05	0,2	0,4	-	0,2	0,3*	-
	08.07.05	4,1	3,9	-	2,5*	7,1	-
	21.07.05	8,4	8,2	-	11,0	10,3	-
	04.08.05	11,9	13,0	0,1	20,6*	13,6	0,1
	18.08.05	101,6*	41,5*	2,6	53,2	25,7	0,6
	01.09.05	168,7*	54,5	4,4	56,6	17,3*	0,9

* signifikanter Unterschied zwischen den Saatabständen
- nicht vorhanden

Tab. 4-4: GTL-Gehalte der Pflanzenorgane einzelner Kapuzinerkressepflanzen einer handelsüblichen Saatmischung mit unterschiedlichen Schwefeldüngungen (0 bzw. 100 kg/ha S) und Saatabständen im Verlauf der Vegetationsperiode des Versuchsjahres 2005 (n = 3, TS 40 °C).

Bestandes- dichte [cm]	Datum	GTL -Gehalt in Pflanzenorganen der Kapuzinerkresse [µmol/g TM]					
		-S			+S		
		Stängel	Blatt	Samen	Stängel	Blatt	Samen
30	23.06.05	k.M.	43,9	-	k.M.	51,3	-
	08.07.05	7,7	30,9*	-	5,8	14,7*	-
	21.07.05	13,8	34,8	70,3	14,2	33,0	82,3
	04.08.05	11,3	24,2	87,8	9,5	18,3	82,6
	18.08.05	15,0	45,6	93,8	9,8	39,9	71,3
	01.09.05	7,6	17,3*	k.M.	6,0	10,8*	70,8
60	23.06.05	k.M.	47,6	-	k.M.	44,9	-
	08.07.05	11,6	30,2	-	5,0	33,7	-
	21.07.05	19,2*	36,5	73,9	28,1*	41,7	97,0
	04.08.05	6,9	19,0	75,4	6,8	13,2	-
	18.08.05	9,2	49,5	78,3	11,9	40,3	56,5
	01.09.05	5,0	18,6	39,7	3,1	11,3	k.M.

* signifikanter Unterschied zwischen den Schwefeldüngungsstufen, k. M. kein Material, - nicht vorhanden

Vergleicht man die Blattentwicklung der Pflanzen der Saatmischung der Parzellen ohne Schwefeldüngung, ist trotz des ungleichmäßigen Wuchses der Kapuzinerkresse Mischung erkennbar, wie sich der Abstand auf die Entwicklung der Pflanze auswirkt. Die Biomasse der Pflanzen beider Saatabstände unterscheidet sich erst zu den späteren Beprobungsterminen eindeutig (Abb. 4-1). Dieses gilt sowohl für die Trockenmassezunahme der Blätter, als auch für die Stängel.

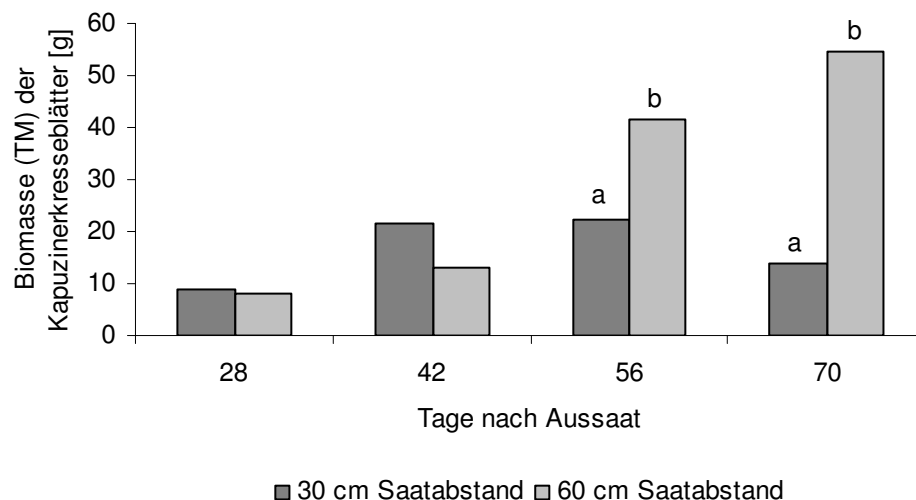


Abb. 4-1: Biomassezunahme (Trockenmasse) der Blätter einer Pflanze der Kapuzinerkressesaatmischung im Verlauf der Vegetationsperiode. Als Beispiel diente die ungedüngte S-Variante (2005, n = 3, TS 40 °C). Die verschiedenen Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Saatabständen.

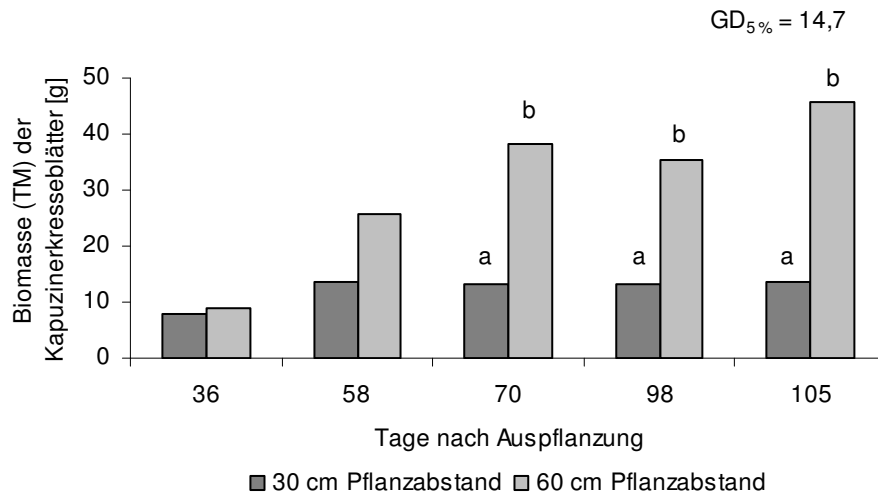


Abb. 4-2: Biomassezunahme (Trockenmasse) der Blätter einer Pflanze innerhalb der Vegetationsperiode von Kapuzinerkresse, in zwei Pflanzabständen gepflanzt (n = 4, Versuchsjahr 2006, Klon FL37, TS 40 °C). Die verschiedenen Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Pflanzabständen.

Das gleiche bestätigten die Ergebnisse des Versuchsjahres 2006, in dem der Klon FL37 in zwei Abständen gepflanzt wurde (Abb. 4-2). Die Trockenmasse der Blätter steigt bei im Abstand von 60 cm gepflanzten Kapuzinerkressepflanzen um rund 70 % gegenüber den enger gepflanzten an. Wohingegen der maximale Trockenmasseanteil von Blättern bereits 58 Tage nach der Auspflanzung nahezu unverändert blieb. Durch die Möglichkeit einheitlich wachsende Pflanzen zu vergleichen, lässt sich auch der GTL-Gehalt durch Klon FL37 besser auswerten. So war der GTL-Gehalt der Pflanzen der Saatmischung im Jahr 2005 bei beiden Saatabständen fast gleich, im darauf folgenden Jahr unterschieden sich die GTL-Gehalte der Blätter jedoch eindeutig. Die Gehalte der in 30 cm Abstand gepflanzten Kapuzinerkresse waren im Mittel signifikant höher als die der in 60 cm Abständen gepflanzten Kapuzinerkresse (Tab. 4-5). Der Unterschied von 25 - 51 % verdeutlichte sich erst zu den späteren Beprobungsterminen.

Tab. 4-5: Biomassezunahme (TM) und GTL-Gehalte der Blätter und Stängel einer Pflanze des Kapuzinerkresseklons FL37 innerhalb einer Vegetationsperiode (n = 4, TS 40 °C, Versuchsjahr 2006).

Datum	Bestandesdichte [cm]	Biomasse [g]		GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]	
		Stängel	Blatt	Stängel	Blatt
05.07.06	30	6,1	7,9	10,1	13,5
27.07.06		25,0	13,5	11,6	27,4
08.08.06		26,9	13,2	21,0	45,0
05.09.06		30,2	13,3	11,2	31,5
12.09.06		46,4	13,7	17,2	41,9
05.07.06	60	6,4	8,8	7,6	16,9
27.07.06		40,3	25,7	7,3	27,8
08.08.06		65,4	38,4	19,0	29,6
05.09.06		101,5	35,5	16,1	23,6
12.09.06		114,5	45,9	16,1	20,7
	GD ₅ %	22,2	8,4	n. s.	8,4

n. s. nicht signifikant

Wie im Jahr zuvor kam es auch im Jahr 2006 zum Ende der Vegetationsperiode zu einem starken Zuwachs von GTL-armen Stängeln (Tab. 4-5). Die Bestandesdichte hat, wie zu erwarten war, keine Auswirkung auf das Frisch- und Trockenmasse-Verhältnis und auch das Verhältnis von Blättern und Stängeln ist bei den zwei Abständen vergleichbar (Tab. 4-6).

Tab. 4-6: Trockenmasse-Anteil der Kapuzinerkresseblätter und -stängel und das Blatt/Stängel-Verhältnis von Kapuzinerkresse Klon FL37 (TS 40 °C, Versuchsjahr 2006, n = 4).

Erntetermin	Tage nach Aus- pflanzung	Bestandesdichte	Trockenmasse TM [%]		Blatt:Stängel- Verhältnis
			Blatt	Stängel	
05.07.2006	36	30	19	10	1,3
		60	17	8	1,4
27.07.2006	58	30	16	9	0,5
		60	16	10	0,6
05.09.2006	98	30	12	7	0,4
		60	13	11	0,3
12.09.2006	105	30	13	8	0,3
		60	13	8	0,4

In den Jahren 2005 und 2006 wurden im Abstand von 30 cm Blatt-Trockenmasse-Erträge pro Hektar erzielt, die über denen von 60 cm Abständen lagen (Tab. 4-7, Tab. 4-8). Es wurden für die Berechnungen der Gesamterträge je zwei Drittel der Einzelpflanzenenerträge der Blätter einbezogen, da nie alle Blätter zur Ernte geeignet sind. Wie zuvor beschrieben, wachsen vorwiegend die Stängel, das spiegelt sich in den geringen Ertragsunterschieden für Blätter der Beprobungstermine 2006 wider. Die Erträge der Saatmischung von 2005 schwanken im Vergleich erheblich in ihrer Trockenmasse (Tab. 4-3) und folglich auch in ihren Erträgen (Tab. 4-7).

Tab. 4-7: Erträge von getrockneten Kapuzinerkresseblättern pro Hektar zu verschiedenen Terminen des Versuchsjahres 2005 der beiden Saatabstände im Vergleich (Saatmischung, n = 3).

Datum	Tage nach Aussaat	Ertrag der Blätter [t/ha]			
		Saatabstand			
		30 cm		60 cm	
		-S	+S	-S	+S
21.07.05	28	1,33	0,93	0,3	0,38
04.08.05	42	3,20	5,03	0,48	0,50
18.08.05	56	3,30	2,04	1,54	0,95
01.09.05	70	2,03	5,37	2,02	0,64

Der Einfluss der Schwefelversorgung zeigte sich in beiden Versuchsjahren nur uneindeutig. Im Kapitel 4.3 wird näher auf die einzelnen Pflanzenorgane und den genotypischen Einfluss durch den Anbau der Pflanzenklone von Kapuzinerkresse eingegangen. Abschließend lässt sich sagen, dass die in zwei untersuchten Pflanzabständen angebaute Kapuzinerkresse sich entscheidend in der Ausbeute an Trockenmasse unterscheidet. Der Anteil an Unkraut und die damit verbundene Arbeit steigt mit dem Abstand zwischen den Pflanzen.

Tab. 4-8: Erträge von getrockneten Kapuzinerkresseblättern pro Hektar zu verschiedenen Terminen des Versuchsjahres 2006 der beiden Bestandesdichten im Vergleich (FL37, + S, n = 4).

Datum	Tage nach Auspflanzung	Ertrag der Blätter [t/ha]	
		Pflanzabstand	
		30 cm	60 cm
27.07.06	58	2,00	0,95
08.08.06	70	1,95	1,42
05.09.06	98	1,96	1,31
12.09.06	105	2,02	1,69

4.2 Einfluss verschiedener Versuchsbedingungen

Neben dem Einfluss unterschiedlicher Anbaubedingungen und Trocknungsverfahren ist die Behandlung der Kapuzinerkresseblätter bedeutend. Es ist notwendig den Verletzungsgrad der Blattproben, den Zeitraum zwischen Ernte und Trocknung, sowie die Trocknungstemperatur zu beachten.

4.2.1 Lagerungsdauer

Für die Verwendung als Rohstoff in der Phytopharmazie ist die behutsame Ernte und Trocknung noch frischer Kapuzinerkresseblätter bedeutsam. Bei einer Lagerung von Kapuzinerkresse sollte der GTL-Gehalt bis zur Trocknung erhalten bleiben. Im folgenden Versuch wurde die Haltbarkeit der erntefrischen Blätter im Zeitraum zwischen Ernte und Trocknung untersucht.

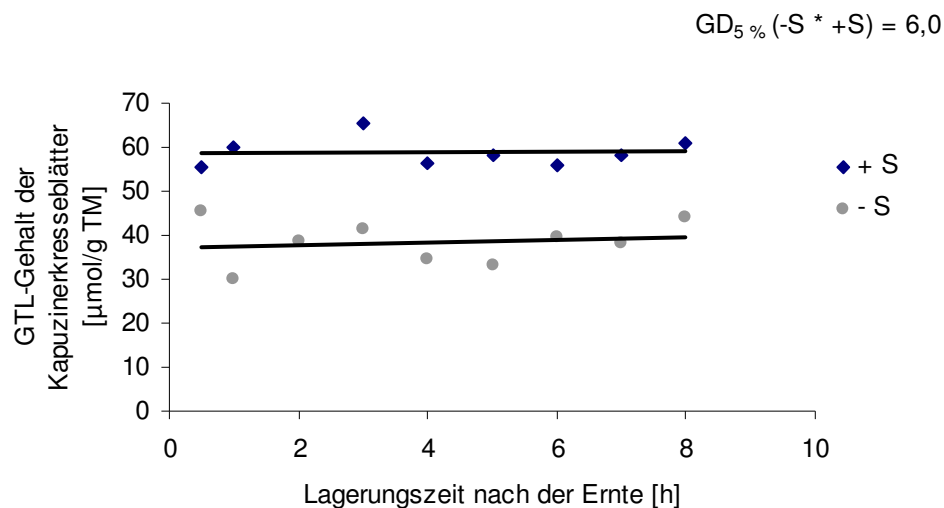


Abb. 4-3: GTL-Gehalt in Kapuzinerkresseblättern in Abhängigkeit von den Stunden nach der Ernte. Unterschieden wurde zwischen S-gedüngten und -ungedüngten Pflanzen (16.08.05, Lagerung bei Raumtemperatur, FL37, TS 40 °C).

In Abb. 4-3 ist zu erkennen, dass die Blätter auch noch 8 h nach der Ernte hohe GTL-Gehalte aufwiesen und somit lagerungsfähig und transportfähig sind. Das Glucosinolat-Myrosinase-System wurde nicht aktiviert und ein Abbau von GTL fand nicht statt. In Abb. 4-3 ist zusätzlich eine nachweislich signifikante Steigerung des GTL-Gehaltes durch Schwefeldüngung erkennbar.

Wurden die Blätter jedoch nicht schonend geerntet, sondern die Blattoberfläche bei der Ernte - in diesem Fall beabsichtigt und gleichmäßig - verletzt, verloren die Blätter mit zunehmender Lagerungsdauer den Wirkstoff GTL (Abb. 4-4).

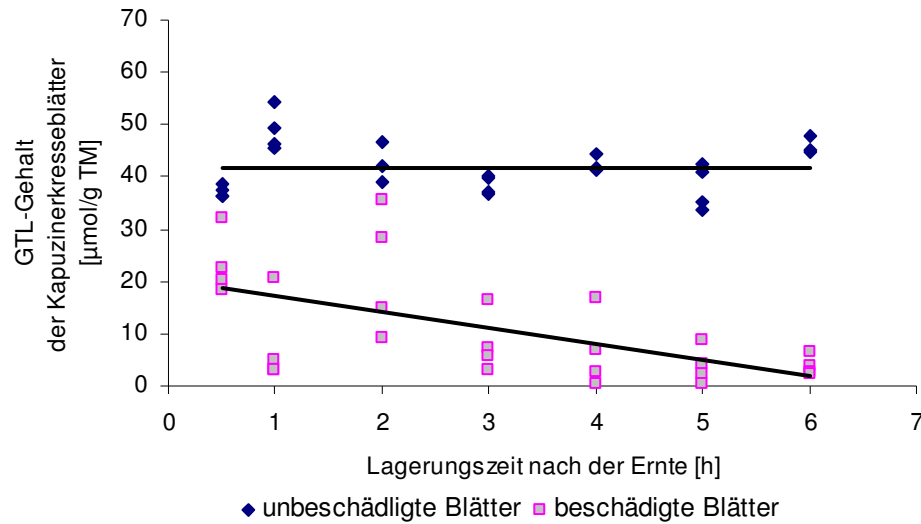


Abb. 4-4: Lagerung der Kapuzinerkresseblätter im Zeitraum zwischen Ernte und Trocknung (n = 4, 01.08.06, Lagerung bei Raumtemperatur, TS 40 °C).

Fazit: Eine Lagerung von schonend geernteten Kapuzinerkresseblättern ist möglich. Da eine Verletzung der Blätter bei einer kommerziellen Ernte nicht ausgeschlossen werden kann, sollten die frisch geernteten Pflanzenteile schnellstmöglich getrocknet werden.

4.2.2 Trocknungstemperatur

Eine Temperatur von 40 °C ist für die Trocknung von Kapuzinerkresseblättern am besten geeignet. Die GTL-Gehalte der bei 30 °C getrockneten Blättern waren etwas höher, die Trocknungszeiten jedoch beachtlich länger (Tab. 4-9).

Tab. 4-9: Einfluss der Trocknungstemperatur auf den GTL-Gehalt von Kapuzinerkresseblättern und die Trocknungsdauer.

Trocknungstemperatur [°C]	n	GTL-Gehalt der Blätter	
		[μmol/g TM]	Trocknungsdauer [d]
30	12	46,7	10
40	12	32,8	5
50	12	4,9	2
60	12	11,7	1
70	12	1,1	1
80	4	1,9	1

4.3 Variabilität des Glucotropaeolingehaltes in Kapuzinerkresse

GTL kommt in allen Pflanzenorganen der Kapuzinerkresse vor. Es wurde untersucht, wie sich die Gehalte in den einzelnen Pflanzenorganen unterschieden. Durch die verwendeten Pflanzenklone bestand die Möglichkeit, genotypische Abweichungen im GTL-Gehalt zu zeigen. Hieraus ergeben sich Erkenntnisse zu Erntegut und Erntezeitpunkt der Kapuzinerkresse.

4.3.1 GTL-Gehalte in den Pflanzenorganen

Der GTL-Gehalt variiert innerhalb der Kapuzinerkresse; wie bereits von Mikus-Plescher et al. (2003) und Bloem et al. (2001) für Kapuzinerkresse beschrieben. In den Versuchsjahren 2005 und 2006 wurden die Pflanzenorgane von Kapuzinerkresse untersucht. Der Pflanzabstand betrug hier 30 cm. Im Versuchsjahr 2005 wurden im zeitlichen Abstand von zwei Wochen Pflanzen geerntet, zerteilt und getrocknet. Am Beispiel des Genotyps FL37 sind die GTL-Gehalte und die Trockenmassen aufgeführt (Tab. 4-10, Tab. 4-11).

Tab. 4-10: GTL-Gehalte von Pflanzenorganen des Kapuzinerkresse-Genotyps FL37 beider Schwefeldüngungen (0 und 100 kg/ha S) im Verlauf der Vegetationsperiode (n = 3, TS 40 °C, 2005).

GTL-Gehalt in Pflanzenorganen von Kapuzinerkresse [$\mu\text{mol/g TM}$]										
Datum	-S					+S				
	Stängel	Blatt	Knospe	Blüte	Samen	Stängel	Blatt	Knospe	Blüte	Samen
23.06.05	10,5	27,5*	-	-	-	12,7	21,0*	-	-	-
08.07.05	7,6	12,0	65,5	34,2	71,7	9,8	15,4	64,0	39,4	65,6
21.07.05	18,2	23,0	74,0	38,8	79,4	13,2	28,5	64,8	32,5	67,5
04.08.05	7,6	17,7	×	×	66,9	12,9	24,3	×	×	63,6
18.08.05	6,4*	27,5*	×	×	59,1	12,6*	41,2*	×	×	52,5
01.09.05	6,7	32,3*	×	×	68,0	13,7	54,2*	×	×	77,9

* signifikanter Unterschied zwischen den Schwefeldüngungen - nicht vorhanden × nicht untersucht

Tab. 4-11: Vergleich des Entwicklungsverlaufes der Biomassezunahme (Trockenmasse) einzelner Pflanzenorgane des Kapuzinerkresse-Genotypen FL37 mit einer Schwefeldüngung von 0 bzw. 100 kg/ha S.

Biomasse von Pflanzenorganen der Kapuzinerkresse [g]										
Datum	-S					+S				
	Stängel	Blatt	Knospe	Blüte	Samen	Stängel	Blatt	Knospe	Blüte	Samen
23.06.05	2,0	3,5	-	-	-	2,0	3,0	-	-	-
08.07.05	13,5	8,7	0,4	0,3	0,4	14,1	11,3	0,5	0,4	0,4
21.07.05	30,6	19,7	0,5	2,9	1,3	34,5	15,8	0,7	1,9	0,6
04.08.05	48,2	21,0	×	×	2,0	37,8	20,1	×	×	1,8
18.08.05	33,2	13,3	×	×	0,9	41,9	17,5	×	×	1,4
01.09.05	67,4	18,5	×	×	0,7	95,2	20,1	×	×	1,0

- nicht vorhanden × nicht untersucht

Auch bei diesem Versuch wurden die Schwefeldüngungen von 0 kg/ha S und 100 kg/ha S mit einbezogen. Die Ergebnisse der weiteren Pflanzenklone BG8 und BG26 folgen im Kapitel 4.3.2, in dem auf genotypische Unterschiede näher eingegangen wird. Auch die Wassergehalte der Blätter und Stängel von Kapuzinerkresse unterschieden sich. Der prozentuale Anteil der Trockenmasse von Blättern lag im Vergleich 29 bis 47 % über dem der Stängel (Tab. 4-6).

Die GTL-Gehalte der unterschiedlichen Organe unterschieden sich stark. Die Gehalte in den Blättern waren im Jahr 2005 im Durchschnitt rund dreimal höher als in den Stängeln. Die Stängel enthielten mit etwa 10 $\mu\text{mol/g TM}$ am wenigsten GTL. Die Blätter hatten einen mittleren Gehalt von rund 30 $\mu\text{mol/g TM}$, und die Samen waren die GTL-reichsten Pflanzenorgane mit durchschnittlich 70 $\mu\text{mol/g TM}$ und bis zu 100 $\mu\text{mol/g TM}$ (Abb. 4-5).

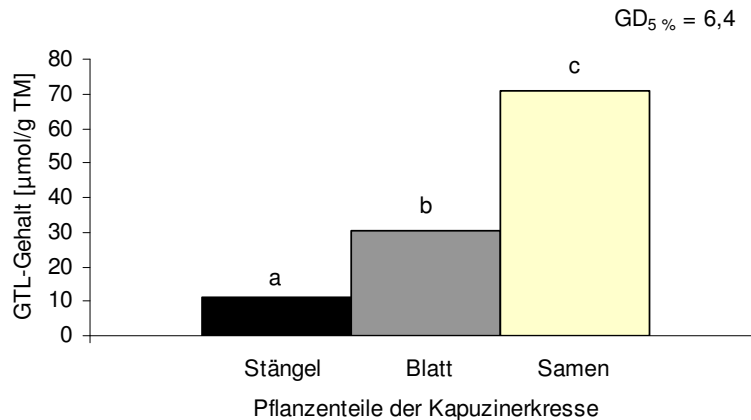


Abb. 4-5: GTL-Gehalte der verschiedenen Pflanzenorgane der Kapuzinerkresse (Durchschnittswerte aller Genotypen und 4 Termine zusammengefasst, + S: 100 kg/ha S, TS 40 °C, Saatabstand 30 cm, n = 60, 2005). Die verschiedenen Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Pflanzenorganen.

Im Jahr 2006 lag der GTL-Gehalt der Stängel im Mittel bei 13,7 $\mu\text{mol/g TM}$ und der GTL-Gehalt von Blättern bei 27,8 $\mu\text{mol/g TM}$, dementsprechend sind diese Ergebnisse mit dem Vorjahr vergleichbar. Die höchsten auf die Trockenmasse bezogenen GTL-Konzentrationen wurden in den Samen gemessen, danach folgten die Knospen und Blüten, die Blätter und die Stängel (Abb. 4-6).

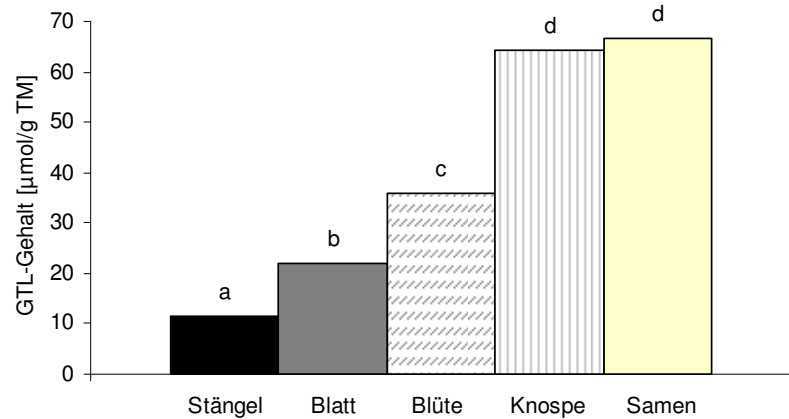


Abb. 4-6: GTL-Gehalte von verschiedenen Pflanzenorganen der Kapuzinerkresse (+ S: 100 kg/ha S, Saatabstand 30 cm, n = 6, TS 40 °C, 2005). Die verschiedenen Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Pflanzenorganen.

Der GTL-Gehalt der Blätter war im Jahr 2006 im Durchschnitt doppelt so hoch wie der GTL-Gehalt der Stängel, nachzulesen in Kapitel 4.1.2 (Tab. 4-5, Kapitel 4.1.2, Seite 44). Der Trockenmasseanteil der Stängel war bei ausdifferenzierten Pflanzen am Ende der Vegetationsperiode höher als wenige Tage nach der Pflanzung (Abb. 4-7). Der zunehmende Anteil von GTL-armen Stängeln muss bei der Ernte berücksichtigt werden.

Neben dem GTL-Gehalt ist die Verfügbarkeit ein Auswahlkriterium, so sind Blätter mehrmals im Jahr zur Ernte geeignet, die Samen reifen erst später. Der beispielhafte sigmoide Verlauf (Abb. 4-7) konnte im Jahr 2005 nicht für alle Genotypen verzeichnet werden (Tab. 4-14, Kapitel 4.3.2, Seite 55).

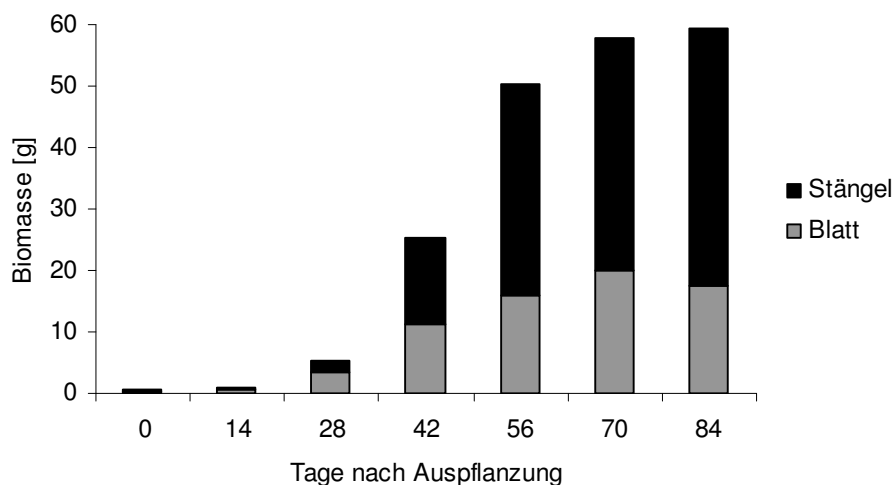


Abb. 4-7: Biomassezunahme (TM) der Kapuzinerkresse innerhalb einer Vegetationsperiode (FL37, + S: 100 kg/ha S, Saatabstand 30 cm, TS 40 °C, 2005): Ist ein bestimmtes Entwicklungsstadium der Pflanze erreicht, erhöht sich nur die Trockenmasse der GTL-armen Stängel.

Das Blatt/Stängel-Verhältnis nahm 2005 durchschnittlich von 1,7 nach 0,4 ab und auch im Versuchsjahr 2006 nahm der Blattanteil in beiden Pflanzabständen relativ zu den Stängeln ab (Kapitel 4.1.2, Tab. 4-6). Im Versuchsfeld von 2006 waren viel weniger Blüten, Knospen und auch Samen gegenwärtig als im Vorjahr. Die Blüten- und Samenbildung war sehr eingeschränkt, es wurden hauptsächlich Blätter und Stängel geerntet. Die Trockenmasse von Knospen, Blüten und Samen reichte für eine Analyse nicht aus (Minimum 50 mg TM). Das relativ kleine Feld (siehe 3.1) wurde im Jahr 2004 nicht zu Probenahmen für Biomassebestimmungen eingesetzt.

Fazit: Trotz der im Verhältnis zu den Samen niedrigen GTL-Gehalte der Blätter, sind diese zur Weiterverarbeitung am besten geeignet. Der Ernteertrag von Blättern als Rohmaterial zur Trocknung ist am größten. Die Ausbildung von Blättern ist gewährleistet, wohingegen die Blüten- und Samenbildung Einflüssen von außen unterliegt.

4.3.2 Genotypische Unterschiede

Es wurde untersucht, ob sich die angewählten Genotypen der Kapuzinerkresse für den Feldanbau eignen. In den Jahren 2005 und 2006 bestand erstmals die Möglichkeit nachzuweisen, welche GTL-Gehalte sich in den Klonen FL37, BG8 und BG26 unter natürlichen Bedingungen im Freiland realisieren lassen. Der Schwerpunkt der Untersuchungen im Jahr 2005 lag auf der Biomasseentwicklung unter Berücksichtigung der Schwefelversorgung. Während der Vegetationsperiode wurde die Entwicklung der Pflanzen durch Bestimmung der Biomassezunahme und der GTL-Gehalte regelmäßig geprüft.

Im darauf folgenden Jahr wurden die Pflanzen - wie zuvor die Saatmischung - in zwei Pflanzabständen verglichen. Ob die große genetische Variabilität der Saatmischung die unbeständigen und geringen GTL-Gehalte in der Kapuzinerkresse bedingt und sich dieses auch im Feldversuch zeigte, wird aus folgenden Ergebnissen deutlich.

Es zeigte sich, dass sich die GTL-Gehalte der Klone nicht signifikant von denen der Saatmischung unterschieden, sowohl im Mittelwert (Abb. 4-8) aller Proben der Vegetationsperiode, als auch zu einem bestimmten Termin. Man erkennt, aufgrund der Schwankung des GTL-Gehaltes innerhalb des Zeitraumes der Probennahme, eine Tendenz des Anstieges im GTL-Gehalt zu den späteren Beprobungsterminen (Abb. 4-9).

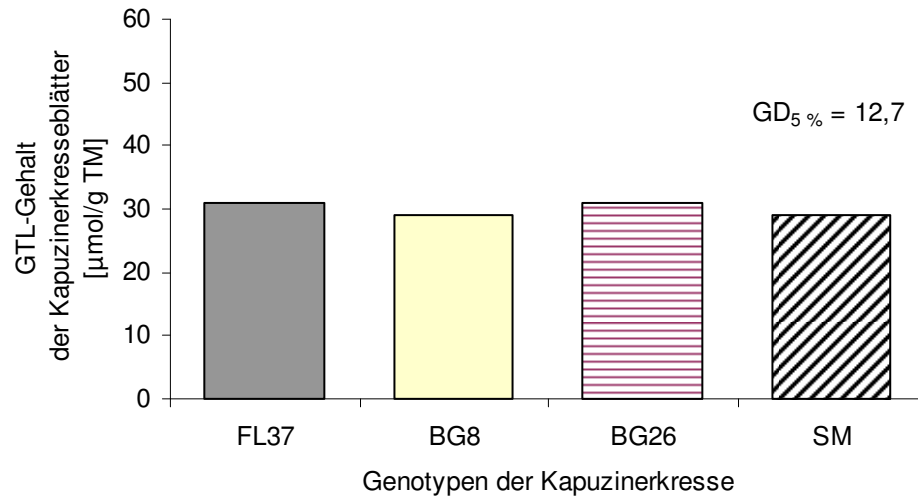


Abb. 4-8: Vergleich der GTL-Gehalte der Blätter der Kapuzinerkresse-Genotypen im Jahresdurchschnitt mit der Saatmischung (SM) (2005, + S: 100 kg/ha S, TS 40 °C, n = 21). FL37, BG8, BG26: Pflanzenklone, Standort im Screening: FL: Freiland Botanisches Institut, BG: Versuchsfläche Botanischer Garten. Die Nummern 8, 26 und 37 stammen von den Bezeichnungen der GTL-reichen Mutterpflanzen aus dem Screening.

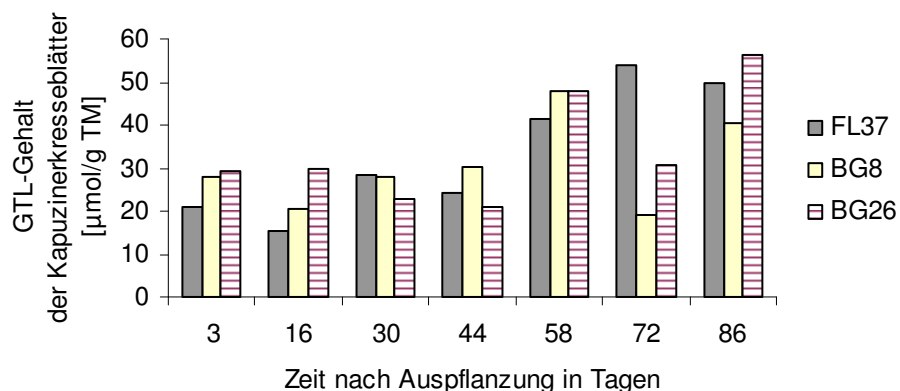


Abb. 4-9: GTL-Gehalte der Genotypen der Kapuzinerkresse in der Vegetationsperiode sind tagesabhängig (2005, + S: 100 kg/ha S, TS 40 °C, n = 3). FL37, BG8, BG26: Pflanzenklone, Standort im Screening: FL: Freiland Botanisches Institut, BG: Versuchsfläche Botanischer Garten. Die Nummern 8, 26 und 37 stammen von den Bezeichnungen der GTL-reichen Mutterpflanzen aus dem Screening.

Die Abstufungen zwischen den Pflanzenteilen waren bei allen Pflanzenklonen, wie bei der Saatmischung, immer deutlich erkennbar. Alle Pflanzenklone zeigten das gleiche Muster der GTL-Verteilung innerhalb der Pflanze. Vergleicht man die GTL-Gehalte der Genotypen, wichen diese kaum voneinander ab (Abb. 4-10, Abb. 4-11).

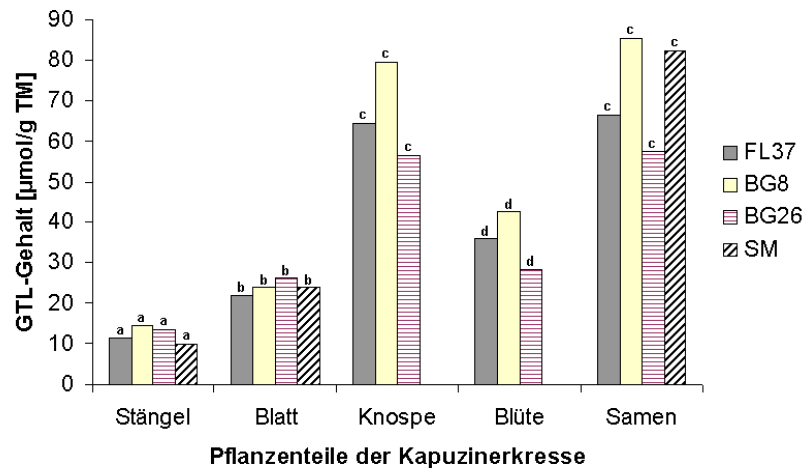


Abb. 4-10: GTL-Gehalte von verschiedenen Pflanzenorganen der Kapuzinerkresse (+ S: 100 kg/ha S, Bestandesdichte 30 cm, n = 6, TS 40 °C, 2005). Die verschiedenen Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Pflanzenorganen. FL37, BG8, BG26: Pflanzenklone, Standort im Screening: FL: Freiland Botanisches Institut, BG: Versuchsfläche Botanischer Garten. Die Nummern 8, 26 und 37 stammen von den Bezeichnungen der GTL-reichen Mutterpflanzen aus dem Screening.

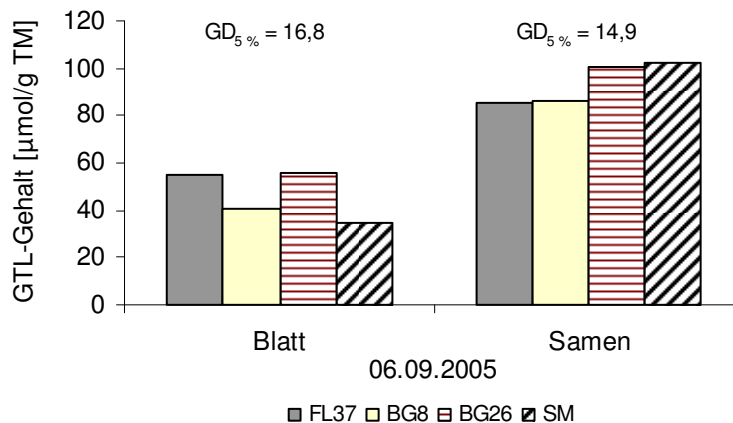


Abb. 4-11: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern und -samen der Genotypen im Vergleich (+S: 100 kg/ha S, Bestandesdichte 30 cm, 06.09.2005, TS 40 °C, n = 3). FL37, BG8, BG26: Pflanzenklone, Standort im Screening: FL: Freiland Botanisches Institut, BG: Versuchsfläche Botanischer Garten. Die Nummern 8, 26 und 37 stammen von den Bezeichnungen der GTL-reichen Mutterpflanzen aus dem Screening.

Die zusätzlich mit Schwefel (100 kg/ha S) versorgten Genotypen und die Gegenkontrollen ohne Schwefel (0 kg/ha S) zeigten im GTL-Gehalt nur vereinzelt signifikante Unterschiede (Tab. 4-13). Trotzdem werden sie an dieser Stelle mit den Biomassen aufgeführt (Tab. 4-14). Als vermutlicher Grund für den sehr geringen Einfluss des Schwefels kann hier schon die Berechnung angegeben werden, ausführlicher wird dieses Thema im Diskussionskapitel besprochen. Im Jahr 2006 wurden die Pflanzabstände miteinbezogen. Die Klone und die Saatmischung lagen mit ihren GTL-Gehalten für Blätter im Bereich des durchschnittlichen Gehaltes (Tab. 4-12). Es zeigte sich, wie im Kapitel 4.1.2 bereits beschrieben (Tab. 4-4), dass die GTL-Gehalte der enger stehenden Pflanzen höher sind (Tab. 4-12).

Tab. 4-12: GTL-Gehalte der getrockneten Blätter der Genotypen in den Pflanzabständen 30 und 60 cm (01.09.06, n = 4, TS 40 °C)

Pflanzenklon	GTL-Gehalt der Kapuzinerkresseblätter [µmol/g TM]	
	30 cm	60 cm
FL37	48,2	28,2
BG8	59,8	55,9
Saatmischung	40,9	32,5

FL37, BG8: Pflanzenklone, Standort im Screening: FL: Freiland Botanisches Institut, BG: Versuchsfläche Botanischer Garten. Die Nummern 8 und 37 stammen von den Bezeichnungen der GTL-reichen Mutterpflanzen aus dem Screening.

Tab. 4-13: GTL-Gehalte von getrockneten Pflanzenorganen der Kapuzinerkresse-Genotypen unter Berücksichtigung beider Schwefelversorgungsstufen (0 und 100 kg/ha S) im Verlauf der Vegetationsperiode, (n = 3, TS 40 °C).

GTL-Gehalt von Pflanzenorganen der Kapuzinerkresse [µmol/g TM]											
Pfl.	Datum	-S					+S				
		Stängel	Blatt	Knospe	Blüte	Samen	Stängel	Blatt	Knospe	Blüte	Samen
FL37	23.06.05	10,5	27,5*	-	-	-	12,7	21,0*	-	-	-
	08.07.05	7,6	12,0	65,5	34,2	71,7	9,8	15,4	64,0	39,4	65,6
	21.07.05	18,2	23,0	74,0	38,8	79,4	13,2	28,5	64,8	32,5	67,5
	04.08.05	7,6	17,7	×	×	66,9	12,9	24,3	×	×	63,6
	18.08.05	6,4*	27,5*	×	×	59,1	12,6*	41,2*	×	×	52,5
	01.09.05	6,7	32,3*	×	×	68,0	13,7	54,2*	×	×	77,9
BG8	23.06.05	10,8	27,3	-	-	-	13,9	27,8	-	-	-
	08.07.05	9,7	16,8	89,2	50,5	73,0	14,2	20,2	97,5	54,0	95,9
	21.07.05	15,1	28,5	54,0	26,4	76,4	14,9	27,8	61,5	31,0	74,9
	04.08.05	9,3	25,7	×	×	83,9	12,4	30,1	×	×	77,7
	18.08.05	8,4	29,8	×	×	67,9*	9,2	47,8	×	×	89,9*
	01.09.05	22,3	63,3*	×	×	86,5	7,1	19,1*	×	×	72,8
BG26	23.06.05	17,8	30,4	-	-	-	17,0	29,3	-	-	-
	08.07.05	11,1	24,2	53,6*	36,5	56,2	14,5	29,8	64,3*	35,2	49,3
	21.07.05	19,0*	27,3	48,4	19,3	60,5	12,9*	22,6	48,5	21,3	66,1
	04.08.05	5,3	14,4	×	×	68,7	6,0	20,8	×	×	83,1
	18.08.05	5,1	35,8	×	×	62,1	8,0	47,9	×	×	70,5
	01.09.05	7,4	39,5	×	×	81,7	6,6	30,8	×	×	78,8
Saat- misch- ung	23.06.05	k. M.	43,9	-	-	-	k. M.	51,3	-	-	-
	08.07.05	7,7	30,9*	-	-	-	5,8	14,7*	-	-	-
	21.07.05	13,8	34,8	-	-	70,3	14,2	33,0	-	-	82,3
	04.08.05	11,3	24,2	×	×	87,8	9,5	18,3	×	×	82,6
	18.08.05	15,0	45,6	×	×	93,8	9,8	39,9	×	×	71,3
	01.09.05	7,6	17,3*	×	×	k. M.	6,0	10,8*	×	×	70,8

* signifikanter Unterschied zwischen den Schwefelversorgungsstufen, k. M. kein Material, - nicht vorhanden, × nicht untersucht, FL37, BG8, BG26: Pflanzenklone, Standort im Screening: FL: Freiland Botanisches Institut, BG: Versuchsfläche Botanischer Garten. Die Nummern 8, 26 und 37 stammen von den Bezeichnungen der GTL-reichen Mutterpflanzen aus dem Screening.

Tab. 4-14: Vergleich des Entwicklungsverlaufes der Biomassezunahme (Trockenmasse) einzelner Pflanzenorgane der Kapuzinerkresse-Genotypen mit einer Schwefeldüngung von 0 bzw. 100 kg/ha S (n = 3, TS 40 °C).

Biomasse von Pflanzenorganen der Kapuzinerkresse [g]											
Pfl.	Datum	-S					+S				
		Stängel	Blatt	Knospe	Blüte	Samen	Stängel	Blatt	Knospe	Blüte	Samen
FL37	23.06.05	2,0	3,5	-	-	-	2,0	3,0	-	-	-
	08.07.05	13,5	8,7	0,4	0,3	0,4	14,1	11,3	0,5	0,4	0,4
	21.07.05	30,6	19,7	0,5	2,9	1,3	34,5	15,8	0,7	1,9	0,6
	04.08.05	48,2	21,0	×	×	2,0	37,8	20,1	×	×	1,8
	18.08.05	33,2	13,3	×	×	0,9	41,9	17,5	×	×	1,4
	01.09.05	67,4	18,5	×	×	0,7	95,2	20,1	×	×	1,0
BG8	23.06.05	3,4	5,6	-	-	-	3,1	5,1	-	-	-
	08.07.05	11,4	12,6	1,0	0,7	0,8	21,1	11,3	1,1	0,9	0,5
	21.07.05	29,9	16,5	0,8	5,7	5,7	21,7	10,0	0,4	2,7	3,6
	04.08.05	57,6	27,3	×	×	14,5	46,5	24,4	×	×	9,7
	18.08.05	41,9	15,7	×	×	11,5	40,1	16,9	×	×	12,3
	01.09.05	121,3	26,0	×	×	2,8	75,4	25,4	×	×	6,0
BG26	23.06.05	1,7	5,7	-	-	-	1,0	1,7	-	-	-
	08.07.05	11,5	13,7	1,3	1,3	0,7	10,0	11,1	1,5	0,9	0,6
	21.07.05	5,7	4,5	0,5	2,2	1,9	15,7	8,8	0,4	3,9	2,2
	04.08.05	47,1	28,1	×	×	10,8	37,2	26,2	×	×	13,0
	18.08.05	58,7	31,3	×	×	11,8	69,5	48,0	×	×	8,1
	01.09.05	93,9	48,9	×	×	1,3	66,4	27,9	×	×	0,7
Saat- misch- ung	23.06.05	0,2	0,4	-	-	-	0,5	0,2	-	-	-
	08.07.05	3,0	4,3	-	-	-	5,8	4,3	-	-	-
	21.07.05	12,0	9,0	0,5	-	-	9,4	6,3	0,1	-	-
	04.08.05	28,6	21,6	×	×	0,3	56,9	34,0	×	×	0,0
	18.08.05	50,0	22,3	×	×	0,5	39,9	13,8	×	×	0,6
	01.09.05	40,6	13,7	×	×	1,1	117,9	36,3	×	×	1,5

- nicht vorhanden, × nicht untersucht, FL37, BG8, BG26: Pflanzenklone, Standort im Screening: FL: Freiland Botanisches Institut, BG: Versuchsfläche Botanischer Garten. Die Nummern 8, 26 und 37 stammen von den Bezeichnungen der GTL-reichen Mutterpflanzen aus dem Screening.

4.3.3 Vergleich der Blattgrößen von Kapuzinerkresse

Bekanntlich ändert sich die stoffliche Zusammensetzung eines Blattes im Laufe seiner Entwicklung. Jüngere Blätter haben häufig einen höheren Gehalt bestimmter Sekundärstoffe als ältere. Um die Ergebnisse zu den GTL-Gehalten der Kapuzinerkresseblätter, die in Abhängigkeit von vielen Einflussfaktoren stehen, richtig deuten zu können, wurden im gesamten Feld Analysen einzelner Pflanzen des Klons BG8 durchgeführt. Auf Randeffekte wurde Rücksicht genommen und es wurden keine Pflanzen im äußeren Bereich des Feldes beprobt. Durch Untersuchung von 100 Einzelpflanzen des Klons BG8 (Tab. A 22) konnte gezeigt werden, dass der mittlere GTL-Gehalt in etwa dem von Bloem et al. (2001b) ermittelten Durchschnittswert für Blätter entspricht. Es ist zulässig hier bei kleinen von jungen Blättern und bei großen von älteren Blättern sprechen, da jeweils die gleiche Pflanze

beprobte wurde. Die Unterscheidung zwischen großen und kleinen Blättern bei der Beprobung jeder Pflanze ergab, dass die GTL-Gehalte in jüngeren Blättern um $9,3 \mu\text{mol/g TM}$ signifikant höher sind (Abb. 4-12).

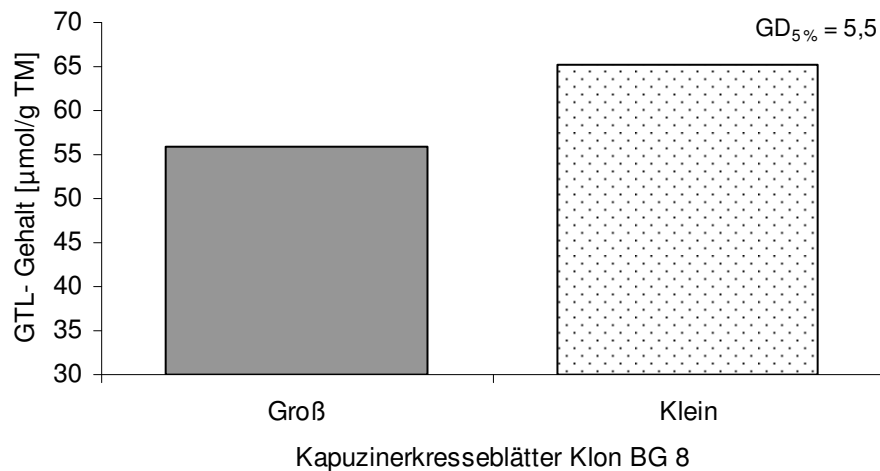


Abb. 4-12: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern unterschiedlicher Größe (Klon BG8, Pflanzabstand 30 cm, 03.08.06, TS 40°C , $n = 100$).

Betrachtet man die Differenzen im GTL-Gehalt zwischen kleinen und großen Blättern für die einzelne Pflanze variieren diese. In 22 % der Pflanzenproben war der Gehalt in den größeren Blättern sogar höher. Bei dem Großteil der beprobten Pflanzen lag der Gehalt der kleinen Blätter $2,7 - 61,8 \mu\text{mol/g TM}$ über dem der Proben großer Blätter. Die erkennbare Tendenz ist mit der hohen Wiederholungsanzahl verbunden und belegt, dass Gehalte einzelner Pflanzen anders zu bewerten sind als die für einen erfolgreichen Anbau der Kapuzinerkresse entscheidenden Durchschnittswerte.

Fazit: Durch gezielte Ernte von Blättern verschiedener Entwicklung kann der GTL-Gehalt der Trockendroge beeinflusst werden. Um einen repräsentativen Durchschnittswert für Blätter der Kapuzinerkresse in den Versuchen zu erhalten, ist darauf zu achten, eine ausreichende Anzahl Pflanzen zu beproben und möglichst gleiche Blattgrößen zu erfassen. Es ist zu vermuten, dass in den jüngeren Blättern mehr GTL akkumuliert wird, weil diese empfindlichen Wachstumszonen gut vor Fressfeinden geschützt werden müssen. Die jüngeren Blätter synthetisieren kein GTL und sind nicht mit mechanischen Schutzmechanismen ausgestattet. Das in den älteren Blättern gebildete GTL könnte vom Ort der Bildung (Source) in die jüngeren Blätter (Sink) über das Phloem der Pflanze transportiert werden (Chen et al., 2001).

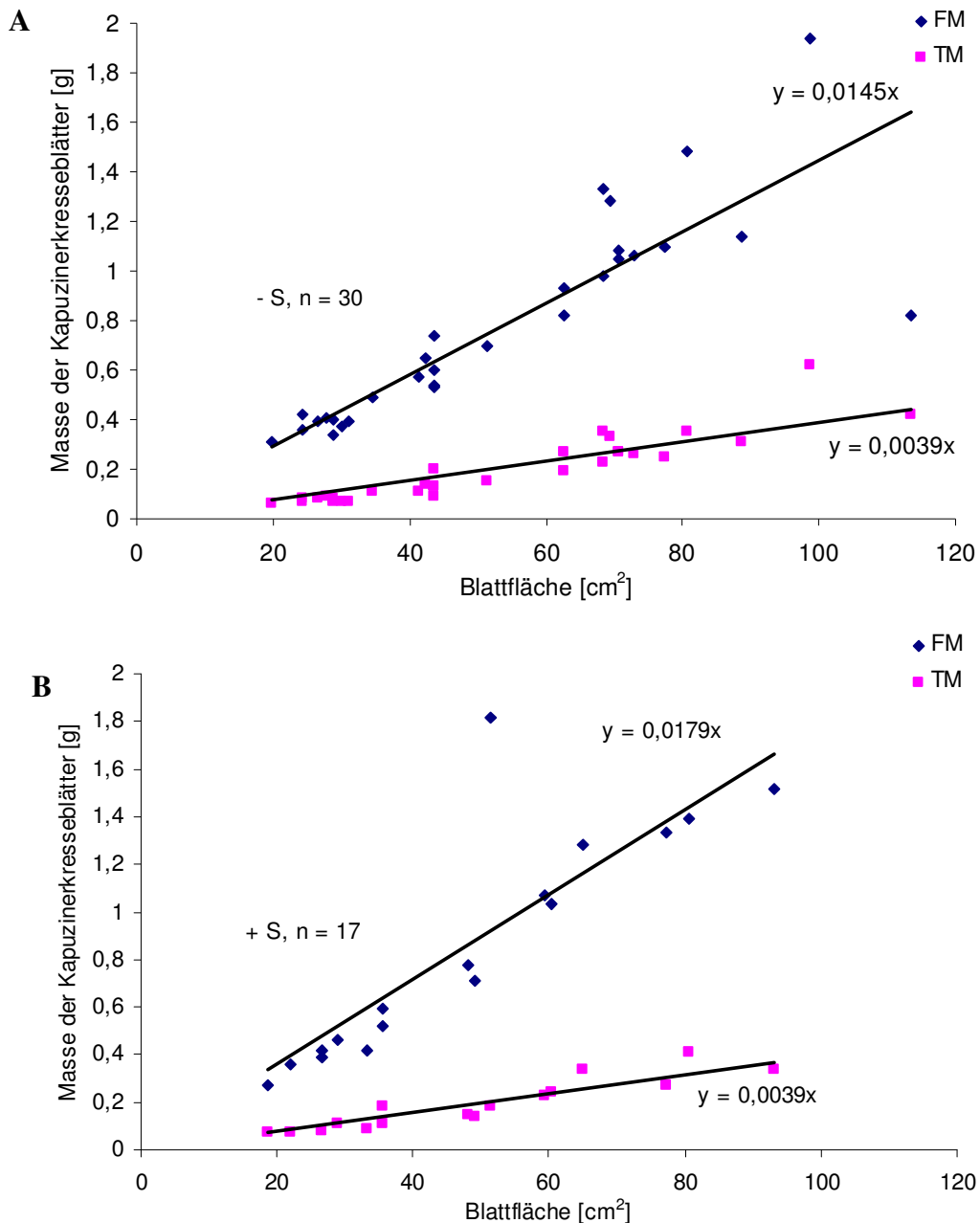


Abb. 4-13: Beziehung von Frisch (FM)- und Trockenmasse (TM) zur Blattfläche von Kapuzinerkresseblättern (A. Ohne Schwefeldüngung. B. Mit Schwefeldüngung).

Das Verhältnis von Frisch- und Trockenmasse änderte sich mit zunehmendem Alter bzw. zunehmender Größe (Abb. 4-13). In sehr jungen Geweben war das Verhältnis Frisch- zu Trockenmasse kleiner. Das würde bedeuten, dass sich trotz höherer GTL-Gehalte bezogen auf das Trockengewicht die tatsächliche GTL-Ausbeute in großen und kleinen Blättern annähern. Die Ernte junger Blätter ist folglich für die Erhöhung der GTL-Gehalte in der Trockendroge vorteilhaft, auch mögliche Verletzungen durch Insekten oder Verdünnungseffekte treten bei kleineren Blättern weniger auf. Für die Versuchsanordnungen, wie z. B. die Trocknungsversuche, ist ein repräsentativer Durchschnittswert der Blattfläche geeigneter. Es ist wichtig die Probe aus Blättern mehrerer Pflanzen zusammenzustellen, um einen

Querschnitt zu erhalten. So gewährleistet man einen repräsentativen Wert und vermeidet Schwankungen der Einzelpflanzen (Tab. A 22) mit einzubeziehen. In Abb. 4-13 wurden die beiden Schwefelvarianten berücksichtigt: Die Blattfläche, sowie die Frisch- und Trockenmasse unterschieden sich nicht bezüglich der S-Versorgung. Es wurde darauf geachtet, bei der Probennahme nur die Blätter als klein zu definieren, die auch durch Farbe und Lage auf ein junges Entwicklungsstadium wiesen. Anders bei der Blattfläche: Hier wurden drei verschiedene Größen von Blättern ausgewählt und verglichen.

Die kleinen Blätter waren durchschnittlich 5 cm² groß, die mittleren hatten eine Fläche von etwa 19 cm² und die großen Kapuzinerkresseblätter durchschnittlich 72 cm². Das größte Blatt hatte eine Fläche von 101 cm². Wie im Vorjahr war auch 2006 ein beinahe konstanter Trockenmasseanteil in Prozent gegeben (Tab. 4-15). Das Frischmasse/Trockenmasse-Verhältnis ließ sich in diesem Fall nicht als Ursache für die Unterschiede heranziehen. Die Tendenz eines abnehmenden GTL-Gehaltes bei einer zunehmenden Blattgröße in cm² ist erkennbar und passt zu den Ergebnissen, die in Abb. 4-12 dargestellt sind.

Tab. 4-15: Unterscheidung verschieden großer Kapuzinerkresseblätter in GTL-Gehalt, Blattfläche und Trockenmasse (TS 40 °C, 25.07.2006).

Einteilung	Blattfläche	FM [g]	TM [g]	TM [%]	GTL-Gehalt
	A [cm ²]				[µmol/g TM]
klein (2,5 - 7,5 cm ²)	5,0	0,10	0,02	20,0	92,0
mittel (12,6 - 30,0 cm ²)	19,0	0,31	0,05	16,1	49,3
groß (48,2 - 101,1 cm ²)	71,6	1,33	0,28	21,1	23,7

4.4 Anreicherung von Glucotropaeolin durch Extraktion

Anders als bei der Trocknung, einem der häufigsten thermischen Trennverfahren, stellt sich bei der Extraktion ein Verteilungsgleichgewicht zwischen zwei nicht mischbaren Flüssigkeiten ein. Durch die Extraktion der Probe am Rotationsverdampfer wurde mit Hilfe des Lösemittels (Extraktionsmittels) GTL aus dem Stoffgemisch gelöst und aufkonzentriert. Es wurden getrocknete, gemahlene Kapuzinerkresseblätter und -samen und die Lösungsmittel Ethanol und Methanol untersucht. In den Blattprobenextrakten konnte der GTL-Gehalt um etwa das Dreifache erhöht werden. Die Extraktion der Samenproben erbrachte einen Anstieg des GTL-Gehaltes um fast das Siebenfache. Die Differenz im GTL-Gehalt ist in Tab. 4-16 dargestellt.

Tab. 4-16: Extraktionsansätze aus Blättern und Samen der Kapuzinerkresse.

Extraktion	Pflanzen- material	Extraktions- mittel	TM Trockenextrakt [g]	GTL-Gehalt Trockenextrakt [μmol/g TM]	TM [%]	Δ GTL
I	Blatt	Methanol	1,0824	127,8	18,0	3,2
II	Blatt	Methanol	0,9898	103,6	16,5	2,6
III	Samen	Methanol	0,4298	533,6	7,2	6,7
IV	Blatt	Ethanol (96 %)	0,2328	104,3	3,9	2,6

4.5 Einfluss verschiedener Trocknungsverfahren

Um mögliche Verluste des Wirkstoffes während der Behandlung von Kapuzinerkresse im Trocknungsverfahren nach der Ernte zu vermeiden, wurde untersucht, welche Trocknungsmethoden sich am besten für die Verarbeitung der Arzneipflanze eignen.

4.5.1 Einfluss verschiedener Trocknungsverfahren auf den GTL-Gehalt

Die in verschiedenen Verfahren getrocknete Kapuzinerkresse zeigte unterschiedliche Verluste des Wirkstoffes GTL auf. Nach den Trocknungen im Trockenschrank (40 °C) und in der Mikrowelle waren die GTL-Gehalte der Kapuzinerkresseblätter am höchsten. Der Mittelwert der GTL-Gehalte in den so getrockneten Pflanzenteilen lag in allen Versuchsjahren über dem des gefriergetrockneten Materials (Abb. 4-14, Tab. 4-18, Abb. 4-16). Im Gegensatz dazu ergaben sich aus den Trocknungsverfahren, die einer möglichen großtechnischen Trocknung nachempfunden sind (Kondentrocknung, Hordentrocknung), massive Wirkstoffverluste. In den Versuchsjahren 2004 und 2005 zeigten sich außerdem Erhöhungen im GTL-Gehalt durch die Versorgung mit Schwefel (Tab. 4-17, Abb. 4-15).

Tab. 4-17: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern der Trocknungsversuche des Jahres 2004.

Datum	Trocknungstechnik	n	GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]		GD ₅ %
			-S	+S	
29.07.04	TS	4	19,6	32,7	2,9
	GF	4	1,8	2,6	n.s.
	KTa	4	16,4	27,2	4,1
	VT	4	19,9	30,3	4,0
11.10.04	TS	3	53,9	60,9	n.s.
	MW	3	55,9	57,1	n.s.
	GF	3	55,1	59,7	n.s.
15.10.04	TS	3	67,8	64,9	n.s.
	GF	3	13,4	18,6	n.s.

GF: Gefriertrocknung, KTa: Kondenstrocknung (40 °C) mit fixierten Blättern, MW: Mikrowelle (1000 W), TS: Frischlufttrocknung im Trockenschrank (40 °C), VT: Vakuumtrocknung (300 hPa, 40 °C)

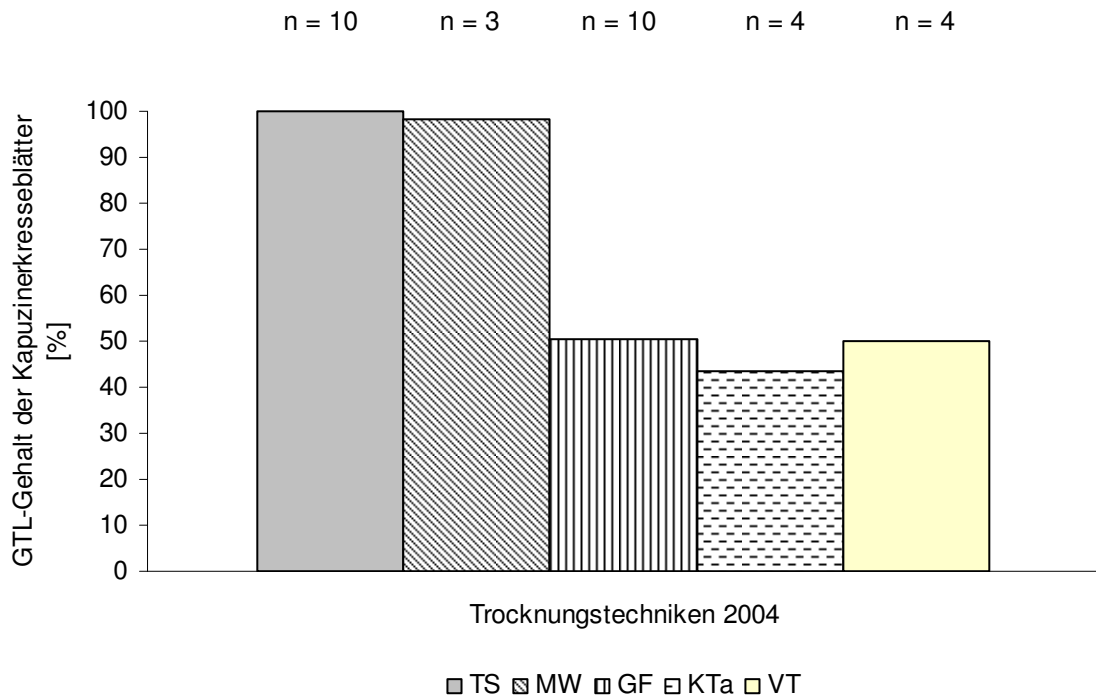


Abb. 4-14: Übersicht der GTL-Gehalte des Versuchsjahres 2004. Der Mittelwert der GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern verschiedener Trocknungstechniken in % im Vergleich (100 % = maximal erreichter GTL-Gehalt). GF: Gefriertrocknung, KTa: Kondenstrocknung (40 °C) mit fixierten Blättern, MW: Mikrowelle (1000 W), TS: Frischlufttrocknung im Trockenschrank (40 °C), VT: Vakuumtrocknung (300 hPa, 40 °C)

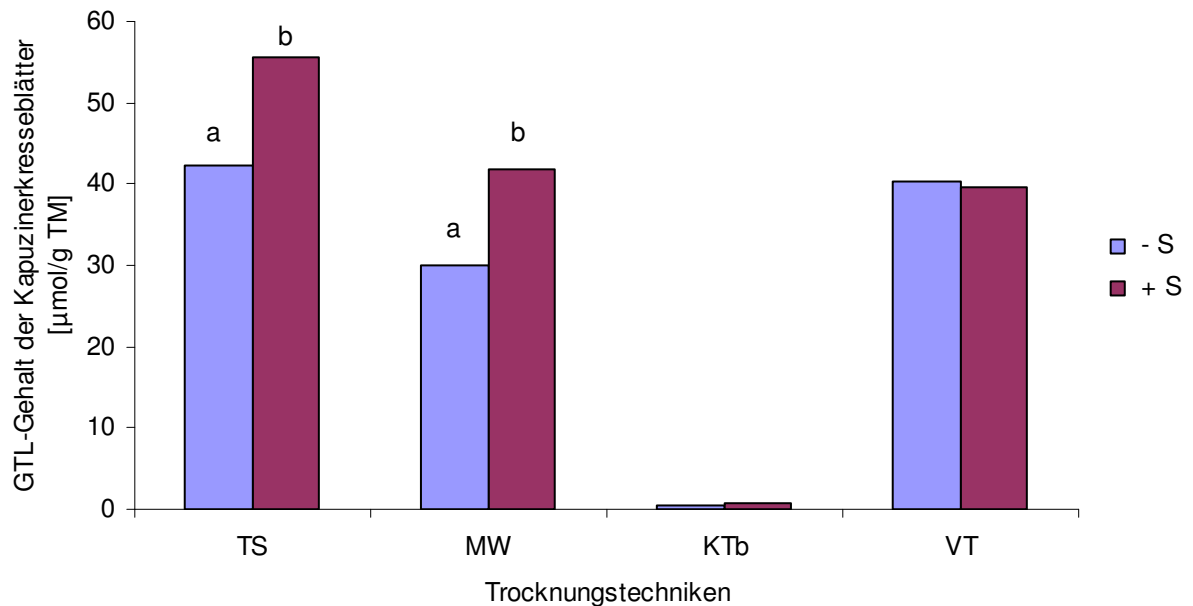


Abb. 4-15: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern der verschiedenen Trocknungstechniken im Vergleich beider Schwefelversorgungsvarianten (Versuchsjahr 2005, 12.08.2005, n = 3). Die verschiedenen Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den S-Stufen. KTb: Kondenstrocknung (40 °C) mit Papiertüte, MW: Mikrowelle (1000 W), TS: Frischlufttrocknung im Trockenschrank (40 °C), VT: Vakuumtrocknung (300 hPa, 40 °C)

Tab. 4-18: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern der Trocknungsversuche des Versuchsjahres 2005.

Datum	Trocknungstechnik	n	GTL-Gehalt [µmol/g TM]		GD ₅ %
			-S	+S	
26.05.05	TS	3	11,9	-	
12.08.05	TS	3	42,4	55,5	4,3
	MW	3	30,0	41,8	9,0
	KTb	3	0,6	0,7	n.s.
	VT	3	40,3	39,6	n.s.
26.08.05	GF *	8	-	14,4	
27.08.05	TS	3	-	59,4	
15.09.05	HTa	1	-	41,0	
22.09.05	HTa	2	-	40,0	

HTa: Hordentrocknung (50 °C), GF *: Gefriertrocknung am Institut für Pflanzenbau (FAL), KTb: Kondenstrocknung (40 °C) mit Papiertüte, MW: Mikrowelle (1000 W), TS: Frischlufttrocknung im Trockenschrank (40 °C), VT: Vakuumtrocknung (300 hPa, 40 °C)

In Abb. 4-14 werden die Trocknungsverfahren des Jahres 2004 einander gegenüber gestellt. Der GTL-Gehalt der Trocknung, die am jeweiligen Termin zu dem geringsten Verlust an GTL führte, wurde mit 100 % gleichgesetzt und die anderen Trocknungstechniken in Relation dazu dargestellt. Die 40 °C-Trocknung im Trockenschrank war in allen Versuchsjahren die

optimale Trocknungsmethode (Abb. 4-14, Tab. 4-18, Abb. 4-16). Es wurden zuverlässige GTL-Gehalte erzielt und die Methode war einfach zu handhaben. Die Einflüsse wie Frischluftzufuhr und Temperatur ließen sich leicht regeln und überwachen. Nachteil war die lange Trocknungsdauer (Tab. 4-19). Die Ergebnisse des Versuchsjahres 2006 (Abb. 4-16) ließen das gleiche Verteilungsmuster zwischen den Trocknungstechniken erkennen, durch die Darstellung werden die Qualitätsunterschiede der Trocknungstechnik ohne andere Einflüsse, wie Wachstumsstadium oder Sonnenscheindauer, deutlich gezeigt.

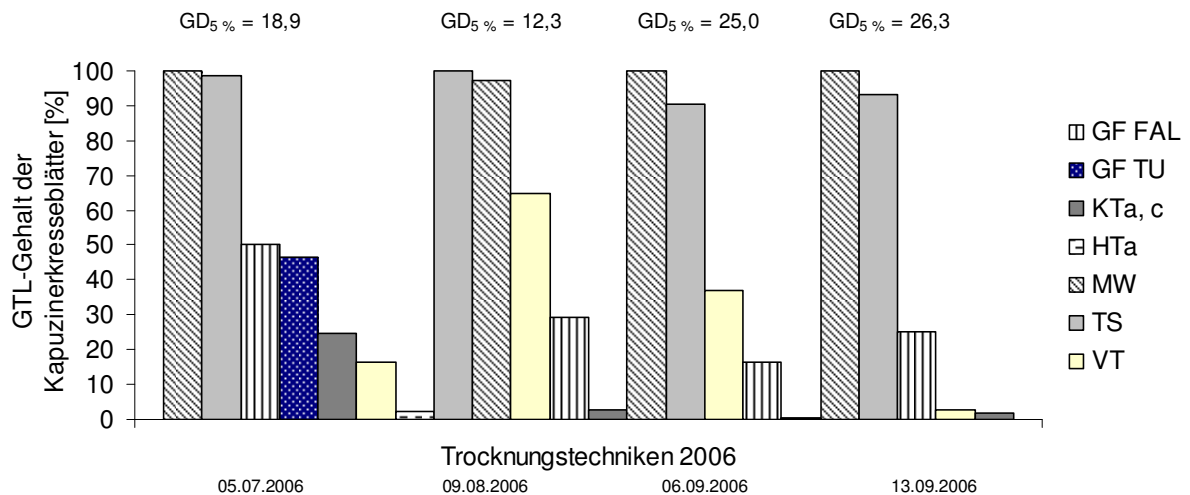


Abb. 4-16: Vergleich des GTL-Verlusts [%] unterschiedlicher Trocknungsmethoden (die bei jeweiligem Termin verlustärmste Trocknung wurde gleich 100 % gesetzt und die anderen Methoden dazu in Relation gestellt). HTa: Hordentrocknung (50 °C), GF (FAL, TU): Gefriertrocknung (FAL, Technische Universität Braunschweig), KTa: Kondentrocknung (40 °C) mit fixierten Blättern, KTc: Kondentrocknung (40 °C) mit Wäschebeutel, MW: Mikrowelle (1000 W), TS: Frischlufttrocknung im Trockenschrank (40 °C), VT: Vakuumtrocknung (300 hPa, 40 °C)

Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durch die Trocknung im Trockenschrank bei 40 °C und in der Mikrowelle war am besten. Die Mikrowellentrocknung war mit wenigen Minuten die schnellste Trocknungstechnik (Tab. 4-19). Es zeigten sich geringe Verluste im GTL-Gehalt im Vergleich mit der Frischlufttrocknung bei 40 °C.

Eine Überprüfung der Mikrowellenleistung ergab, dass die Höhe des GTL-Gehaltes unabhängig von der gewählten Leistung ist (Abb. 4-17).

Tab. 4-19: Dauer der angewendeten Trocknungstechniken.

Trocknungstechnik	Trocknungsdauer
TS	120 h
MW	2 x 50 s oder 2 min
GF	3 - 5 d
KT	24 h
VT	5 - 10 d

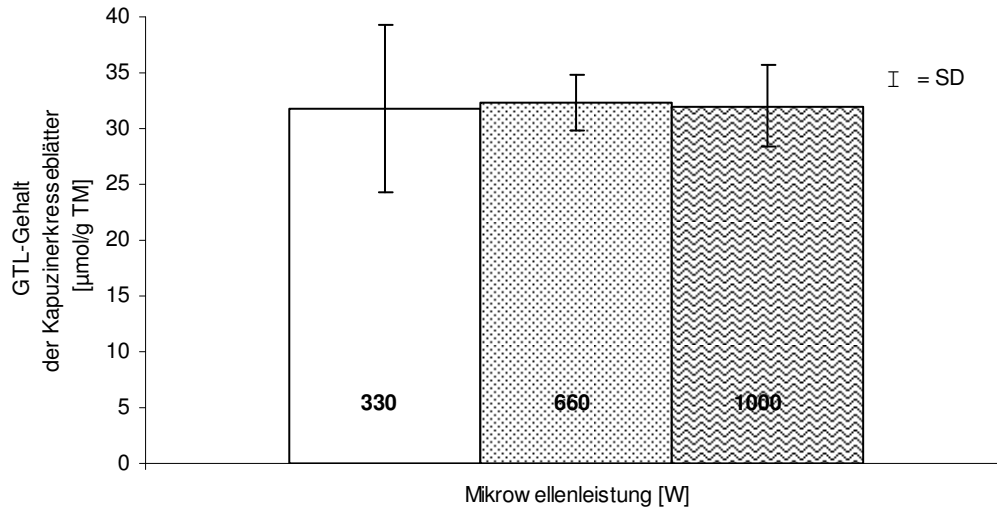


Abb. 4-17: GTL-Gehalte der Kapuzinerkresseblätter in Abhängigkeit von der eingesetzten Mikrowellenleistung (n = 3).

Die Hordentrocknung zeigte eine Verkürzung der Trocknungsdauer gegenüber der Trocknung im Trockenschrank (Tab. 4-20). Die Trocknungstemperatur nahm mit zunehmendem Abstand zum Heizgebläse ab und damit stieg der GTL-Gehalt (Abb. 4-18).

Tab. 4-20: Hordentrocknung (HTb) zu verschiedenen Terminen im Überblick. Abstand zum Heizgebläse bzw. Temperatur in der Horde und Dauer wurden variiert und spiegeln sich in den GTL-Gehalten der Kapuzinerkresseblätter wider.

Datum	Horde	Abstand zum Heizgebläse [cm]	Temperatur (Anfang) [°C]	Trocknungs- dauer [h]	GTL-Gehalt [µmol/g TM]
30.08.06	1	30	47,2	24	8,7
	2	63	46,8	24	22,2
	3	95	45,4	24	61,0
06.09.06	1	30	66,7	8	9,4
	2	63	52,8	24	28,1
	3	95	48,0	24	46,5
13.09.06	1	30	69,6	8	1,1
	2	63	59,3	24	2,6
	3	95	53,3	24	15,1

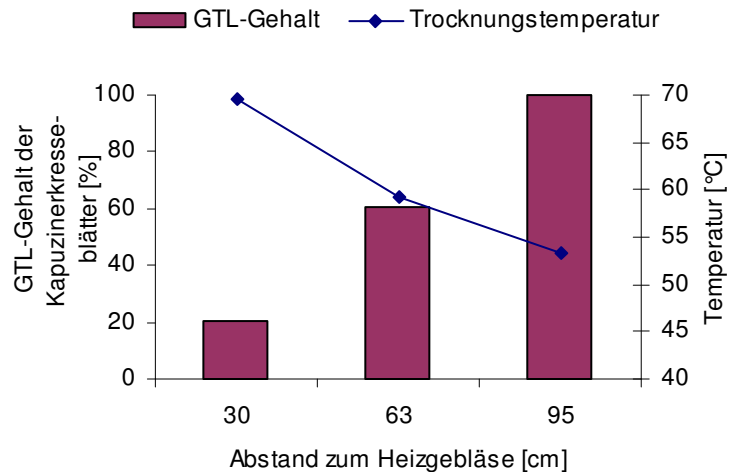


Abb. 4-18: Zusammenhang zwischen GTL-Gehalt der Kapuzinerkresseblätter, Abstand zum Heizgebläse und Trocknungstemperatur (HTb, 06.09.06, FL37, + S: 100 kg/ha S, Bestandesdichte 30 cm, n = 3).

Die GTL-Gehalte von Kapuzinerkressetopfpflanzen, die mit einer Mikrowellenvakuumanlage getrocknet wurden, wurden mit den Trocknungstechniken Gefriertrocknung und Frischlufttrocknung bei 40 °C im Trockenschrank verglichen. Der GTL-Gehalt von Proben, die mikrowellenvakuumgetrocknet wurden, war sehr gering. Die Gewichtsänderung durch die Trocknung wurde in Messdaten erfasst, die das Probengewicht während des Trocknungsverlaufes dokumentieren (Abb. 4-19). Die Trocknungsdauer war mit unter 150 min sehr viel kürzer als die der Referenztrochnungen.

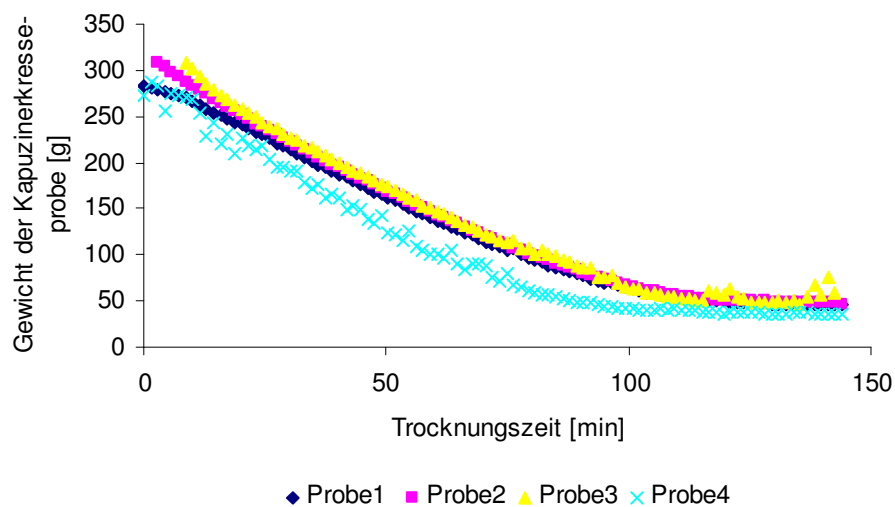


Abb. 4-19: Gewichtsverlust der Kapuzinerkressepflanzen während der MWVT-Trocknung.

Die Trocknungsversuche mit den verschiedenen Versuchstrocknungsanlagen wurden mit erntefrischen Kapuzinerkressepflanzen durchgeführt. Ein Probensatz wurde immer direkt in flüssigem Stickstoff schock gefroren, im Anschluss bei -80 °C gelagert und später gefriergetrocknet (Fa. Christ, Typ: Gamma 1-20). Parallel dazu wurden Proben in einem Trockenschrank mit Frischluftzufuhr bei 40 °C getrocknet. In Abb. 4-20 deutet sich an, dass die Trocknungsmethode der Kombination aus Mikrowelle und Vakuum ungeeignet war. Die Variation der eingesetzten Leistung hatte Einfluss auf den GTL-Gehalt, bedarf aber einer Abstimmung auf die Ansprüche der Pflanze (Tab. 4-21).

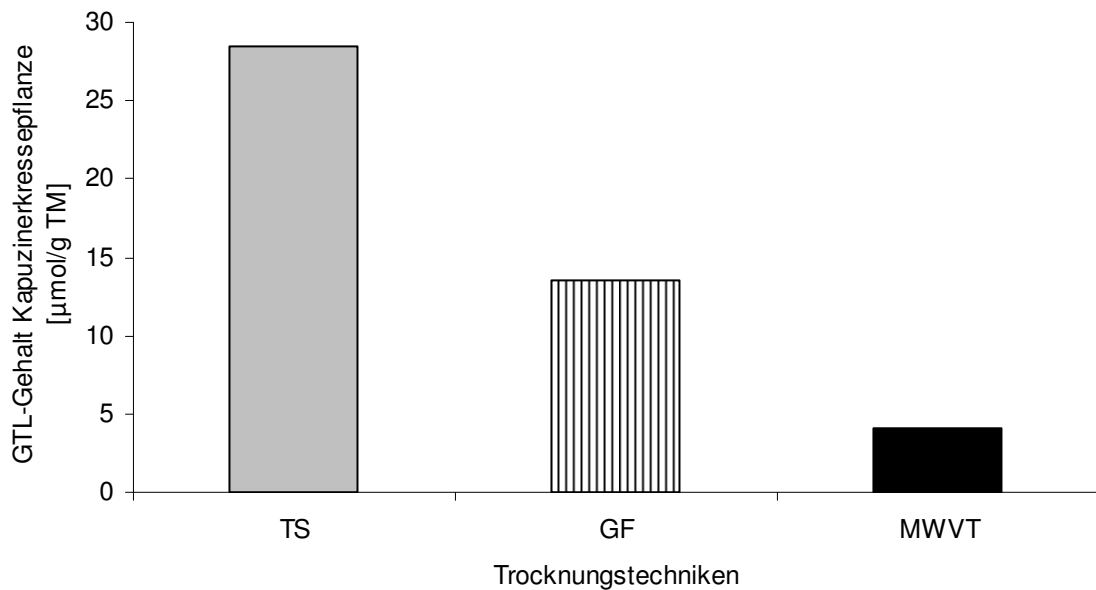


Abb. 4-20: GTL-Gehalte der durch Mikrowellenvakuumtrocknung (MWVT) getrockneten Kapuzinerkressepflanzen aus dem Gefäßversuch im Vergleich mit der Trocknung im Trockenschrank (40 °C, Frischluftzufuhr, TS) und der Gefriertrocknung (GF).

Tab. 4-21: GTL-Gehalt der mikrowellenvakuumgetrockneten Kapuzinerkresse im Zusammenhang mit den angewendeten Parametern (n = 4).

Termin	GTL-Gehalt [µmol/g TM]	Fahrten	Leistung P [W]	Druck p [hPa]
22.08.06	3,4	100	40	50
24.08.06	4,8	20	80	50
		80	40	

4.5.2 Einfluss verschiedener Trocknungsverfahren auf den GABA-Gehalt

GABA (γ -Aminobuttersäure) zählt zu den geläufigen Stressmetaboliten; ein Faktor, der zur GABA-Akkumulation führen kann, ist Trockenstress. Es zeigte sich, dass die Trocknungstemperatur den GTL-Gehalt der zu trocknenden Kapuzinerkresse beeinflusste und sich außerdem die GABA-Konzentration in den Blattproben unterschieden (Abb. 4-21). Folglich wurde während der Trocknung der Kapuzinerkresse bei Temperaturen zwischen 30 °C und 70 °C eine Akkumulation, der als Stressmetabolit bekannten, nicht proteinogenen Aminosäure GABA hervorgerufen.

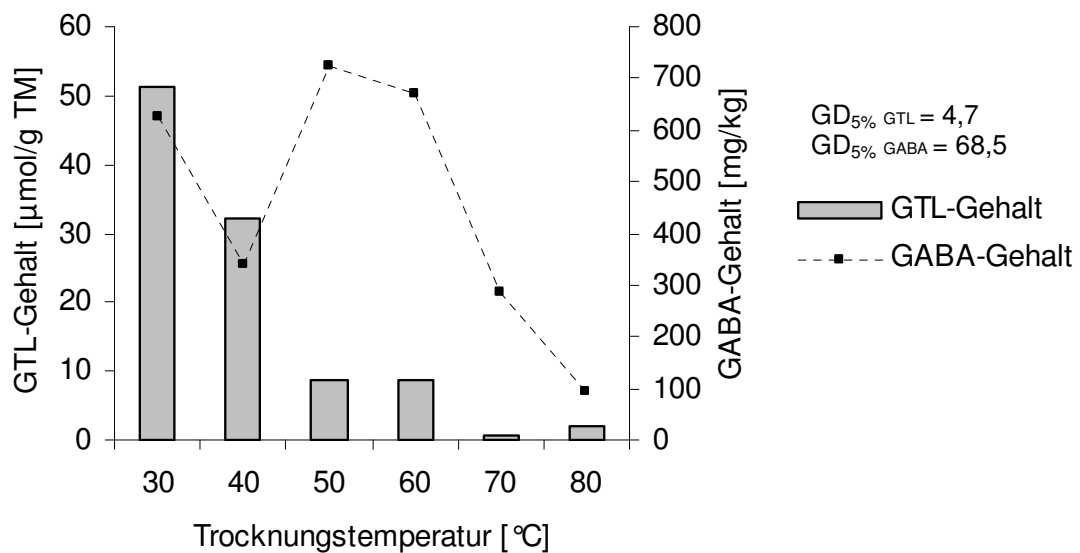


Abb. 4-21: GTL-Gehalt und GABA-Gehalt in Abhängigkeit von der jeweiligen Trocknungstemperatur. (n = 4, n = 2).

Für jede Trocknungstemperatur (Abb. 4-21) der Trocknung im Trockenschrank mit Frischluftzufuhr ließen sich andere GABA-Konzentrationen in den Pflanzenproben nachweisen, zum Vergleich ist der Gehalt in den Gefriertrocknungsproben sehr gering (Tab. 4-22).

Tab. 4-22: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblattproben und deren GABA-Gehalte unterscheiden sich je nach verwendeter Trocknungstechnik.

Trocknungstechnik	GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]	GABA-Gehalt [mg/kg]
TS	32,1	338,1
GF	25,8	86,8
GD _{5%}	n.s.	210,4

4.6 Variabilität und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Witterungsunterschiede beeinflussen nachweislich den GTL-Gehalt. Trotz der natürlichen Schwankung am jeweiligen Beprobungstermin, gilt es repräsentative Proben mit einer Reproduzierbarkeit nachzuweisen. Um die Aussagekraft der Daten zum GTL-Gehalt zu klären, wurden, neben der Mittelwertbildung, die Mengen des geernteten Blattmaterials variiert. Es wurden 10 und 80 gesunde Blätter je Probe geerntet. Die Datenvariabilität lässt sich am besten bei 40 °C-Frischlufттrocknung im Trockenschrank untersuchen, weil hier gleiche Trocknungsbedingungen für 10 und 80 Blätter geschaffen werden können. Bei der Trocknung im Trockenschrank bei 40 °C ließen sich die zu vergleichenden Proben ausbreiten (Abb. 4-22) und so gleiche Bedingungen für 10 und 80 Blätter schaffen. Es zeigten sich Unterschiede im GTL-Gehalt, die sich jedoch bei der Trockenschranktrocknung nicht signifikant unterschieden (Abb. 4-23).



Abb. 4-22: Blatternte und Trocknung bei 40 °C auf einem gut durchlüfteten Gitter.

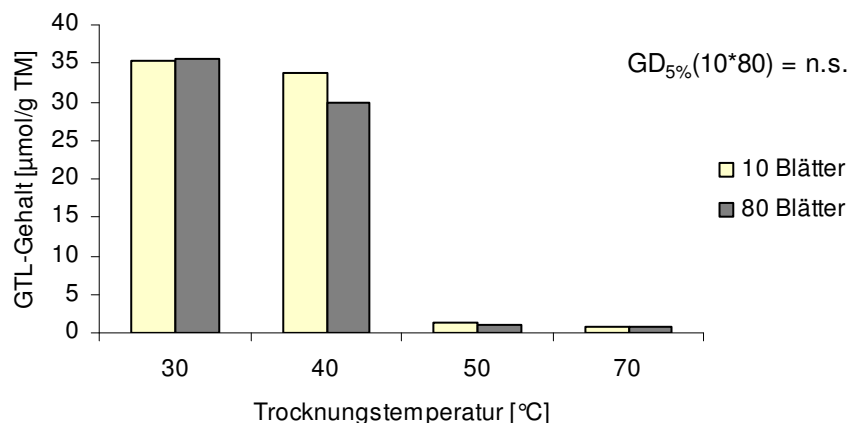


Abb. 4-23: GTL-Gehalt in Abhängigkeit der Trocknungstemperatur aufgetragen unter Berücksichtigung von zwei Probengrößen (n = 4).

Fasst man die Ergebnisse zur Frischlufttrocknung bei 40 °C zusammen, milderte dies die nicht signifikanten Abweichungen (Abb. 4-24).



Abb. 4-24: Vergleich der GTL-Gehalte von Blattproben unterschiedlicher Größe (Trocknung im Trockenschrank mit Frischluftzufuhr bei 40 °C, n = 12)

Die Reproduzierbarkeit ist abhängig von der Trocknungstechnik (Tab. 4-23). In der Mikrowellentrocknung ließen sich auch große Probengrößen trocknen. Die Feuchtigkeit wurde von Papiertüchern aufgefangen. Bei der Gefriertrocknung bestand eine große Schwankungsbreite in den Einzelwerten und es konnten große Unterschiede beobachtet werden, die zu einem Termin signifikant sind.

Tab. 4-23: Beziehung zwischen GTL-Gehalt von Kapuzinerkresseblättern, Probengröße und Trocknungstechnik zu zwei Terminen (Versuchsjahr 2006, +S: 100 kg/ha S, Pflanzabstand 30 cm, n = 4).

Datum	Trocknungstechnik	GTL-Gehalt [µmol/g TM]		GD ₅ %
		10 Blätter	80 Blätter	
06.09.2006	TS	61,2	36,5	n.s.
	MW	49,8	58,0	n.s.
	GF	6,1	27,2	13,7
13.09.2006	TS	40,3	46,7	n.s.
	MW	49,8	58,0	n.s.
	GF	3,1	20,2	n.s.

Die Vergleichbarkeit der Probengröße ist gegeben, wenn die Blätter der Blattproben von unterschiedlichen Pflanzen stammten und unter gleichen Bedingungen getrocknet wurden. Trotz der natürlichen Schwankung konnten signifikante Einflüsse der Trocknung und der Pflanzenorgane auf den GTL-Gehalt festgestellt werden. Für die Vergleichbarkeit der

Trocknungstechniken wären Trockenschränke mit gleichem Fassungsvermögen und Aufbau vorteilhaft. Das größere Volumen, die Schütthöhe und veränderte Trocknungszeiten waren bei einigen Trocknungstechniken zusätzliche Einflussfaktoren. Ein höheres Probenvolumen allein, war nicht ausreichend, um Ergebnisse statistisch abzusichern. Die höhere Standardabweichung großer Probengrößen (80 oder 10x100 Blätter) lässt sich möglicherweise mit dem verzögerten Transport zum Trockner begründen.

5 Diskussion

Das Ziel der Arbeit war es, den Anbau, die Ernte und die Nacherntebehandlung der Kapuzinerkresse (*T. majus*) dahingehend zu optimieren, einen konstant hohen Mindestgehalt von GTL im Trockengut zu erzielen. Die Frischmaterial- und Trockenmaterialgewinnung von Kapuzinerkresse werden diskutiert, daraus lässt sich der Zeitpunkt der Ernte und die geeignetste Trocknungsart ermitteln. Maßgaben für die Qualität und ob der Anbau in Deutschland lohnend ist, werden erörtert.

5.1 Gewinnung des Frischmaterials: Die Bedeutung des Anbaus für die Höhe des GTL-Gehaltes in der Kapuzinerkresse

Hohe Schwankungen des Inhaltstoffes GTL in den Chargen veranlassten dazu, die anbautechnischen Verfahrensweisen und die nacherntetechnologischen Prozesse zu analysieren, um einen möglichen positiven Einfluss mancher Parameter auf den GTL-Gehalt zu quantifizieren und limitierende Einflüsse minimieren zu können. Die Kapuzinerkressепflanze auf dem Feld unterliegt Einflüssen wie Düngung und Klima. Auch Transport und Lagerung beeinflussten den GTL-Gehalt im frischen Erntegut.

5.1.1 Bewertung des Einflusses der Schwefeldüngung auf den GTL-Gehalt der Kapuzinerkresse

Die Düngung hat einen Einfluss auf die Entwicklung, die Morphologie und den Metabolismus von Pflanzen. Die Steigerung der Inhaltsstoffkonzentration durch Schwefel ist für die Phytopharmaka-Erzeugung relevant, da einige Glucosinolat-haltige, und damit S-haltige (Abb. 2-1) Pflanzen speziell für pharmazeutische Zwecke angebaut werden.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass eine zusätzliche Versorgung der Kapuzinerkresse mit Schwefel den GTL-Gehalt zu erhöhen vermag, aber auch keinen positiven Einfluss auf diesen Gehalt haben kann. Ein signifikant erhöhter GTL-Gehalt durch Schwefeldüngung in den Blättern und Samen von Kapuzinerkresse konnte nicht in allen Proben nachgewiesen werden. Die Ergebnisse stimmen nicht mit der beschriebenen Wirkungen von Schwefel auf die Glucosinolat-Konzentration von Pflanzen überein (Zhao et al. 1997, Kim et al. 2002).

Möglicherweise ist der Einfluss von Schwefel geringer als der durch Faktoren wie Witterung oder Pflanzabstand und wird verdeckt. Es ließen sich im Feldversuch die Steigerungen im GTL-Gehalt durch Schwefeldüngung nachweisen, aber es gab immer auch entgegengesetzte Ergebnisse.

Zwischen den Schwefelgehalten gedüngter und ungedüngter Pflanzen konnte vornehmlich ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Jedoch konnte die von Haneklaus et al. (2005) aufgezeigte Steigerung um mehr als 100 % nicht bestätigt werden.

In der Vergangenheit wurden bereits umfangreiche Versuche zum Einfluss der Schwefeldüngung auf den GTL-Gehalt von Kapuzinerkresse durchgeführt (Bloem et al. 2001a, b, 2002, 2003b, 2007, Haneklaus et al. 2005). Diese zeigten, dass sich der GTL-Gehalt in Blättern von Kapuzinerkresse durch eine Schwefeldüngung von 50 - 100 kg/ha um das bis zu 2- bis 3-fache steigern lässt.

Bei Versuchen mit Broccoli sind konträre Ergebnisse veröffentlicht. Schonhof und Krumbein (1997) konnten sowohl das Kopfgewicht, als auch den Gesamt-Glucosinolat-Gehalt signifikant durch Schwefeldüngung steigern. Hingegen wiesen Aires et al. (2006) einen nachteiligen Effekt der Düngung auf den Gehalt der aliphatischen Glucosinolate im Broccoli nach, nur bei einigen der durchgeführten S:N-Düngungskombinationen konnte ein Anstieg der Gehalte von indolischen und aromatischen Glucosinolaten nachgewiesen werden. Makowski und Troegel (2001) beschreiben keinen verbessernden Effekt von Schwefeldüngung auf Qualität und Ertrag im Anbau der Krucifere Krambe, die vor allem als nachwachsender Rohstoff von Interesse ist. In Hinblick auf den Glucosinolat-Gehalt in Krambe führen sie sogar negative Effekte der Schwefelversorgung auf.

Den verwendeten Kapuzinerkresseklonen wurde bereits während der Akklimatisierung im Gewächshaus bis zur Auspflanzung ausreichend Schwefel zugeführt. Zusätzlich hat eine Beregnung, die im Jahr 2005 unumgänglich war, um das Wachstum der Klone nicht zu gefährden, den Bestand zusätzlich mit mehr als 25 kg/ha S versorgt. Das Wasser, das aus einer Brunnenanlage stammt, versah auch die Pflanzen der Parzellen ohne S-Düngung mit Schwefel. Verantwortlich für die Diskrepanz zu den Ergebnissen aus der Literatur bezüglich des Einflusses von Schwefel auf den GTL-Gehalt der Kapuzinerkresse, sind, neben der Beregnung des Versuchsfeldes, vielfältige Einflüsse aus der Umwelt, die im Feldversuch auf den GTL-Gehalt der Kapuzinerkresse einwirken. Die Witterung der Jahre unterscheidet sich vor allem in der Niederschlagsmenge und der Sonnenscheindauer (Abb. A 1).

Die Schwefeldüngung erhöhte im Jahr 2004 den GTL-Gehalt im Vergleich zur Kontrolle ohne Schwefel. Eine Steigerung des GTL-Gehaltes in den Kapuzinerkresseblättern um bis zu 13,1 $\mu\text{mol/g}$ TM durch Schwefelversorgung im Vergleich zur Kontrolle konnte beobachtet werden, aber auch diese Ergebnisse sind nicht signifikant.

Auf eine Schwefelstufe wurde im Jahr 2006 verzichtet. Zum einen war eine Beregnung der Jungpflanzen unumgänglich und zum anderen unterstützte eine gesättigte, gleichmäßige und

genügende Schwefelversorgung (100 kg/ha) die Ergebnisse der Versuche. Das Vermögen der Pflanzenklone bezüglich einheitlichen Wachstums und der Möglichkeit eines höheren GTL-Gehaltes durch den Pflanzabstand konnten so besser beurteilt werden.

Es ist zu vermuten, dass der GTL-Gehalt sehr stark von klimatischen Faktoren beeinflusst wird. Die Sommer 2004, 2005 und 2006 waren extrem unterschiedlich in Bezug auf Niederschlag, Sonnenstunden und mittlerer Temperatur (Abb. A 1). In verschiedenen Brassica-Arten wirken Temperatur, Sonnenstrahlung und Wasserhaushalt auf den Glucosinolat-Gehalt (Sang et al. 1986, Ishii und Saijo 1987, Rosa 1992). Folglich ist es möglich, dass auch beim Anbau von Kapuzinerkresse die Wirkung dieser Einflüsse größer ist, als die von einer zusätzlichen Schwefelversorgung. Eindeutigere Ergebnisse zum Einfluss des Schwefels ergeben sich unter kontrollierten Bedingungen (Matallana et al. 2006).

5.1.2 Bedeutung der Bestandesdichte für die landwirtschaftliche Produktion der Kapuzinerkresse

Es ist bereits bekannt, dass die Bestandesdichte den Glucosinolatgehalt beeinflussen kann. Beim Anbau von Kohl führte eine engere Pflanzung zu einem Anstieg der Glucosinolat-Gehalte, Raps hingegen zeigte keine Steigerung der Glucosinolat-Gehalte durch den Reihenabstand (MacLeod und Nussbaum 1977, Ishii und Saijo 1987).

Um Aussagen für die Kapuzinerkresse treffen zu können, wurden Pflanzen einer Kapuzinerkressesaatmischung in zwei Abstände 30 und 60 cm untersucht. Es konnte eine Zunahme der Trockenmasse der Einzelpflanzen bei weitem Abstand erzielt werden. Der Ertrag an Trockenmasse pro Hektar war jedoch für enger gepflanzte Kapuzinerkresse höher. Die besten Ergebnisse wurden im Jahr 2006 erlangt, weil hier die große Variabilität einer Saatmischung entfiel und die Pflanzen der Klone einheitlicher im Wuchs waren. Die Pflanzen der Saatmischung aus dem Jahr 2005 waren sehr unterschiedlich im Wachstum und der GTL-Gehalt der Pflanzen wurde vom Saatabstand im Feld nicht beeinflusst. Im Jahr 2006, in dem die einheitlich wachsenden Pflanzen des Klons FL37 untersucht wurden, zeigten sich die Abweichungen im GTL-Gehalt zwischen den Pflanzabständen. Daraus ergibt sich, dass eine enge Pflanzung der Kapuzinerkresse lohnender ist.

Außerdem ist der größere Saatabstand als eher ungünstig im Hinblick auf die Unkrautvermehrung zu bewerten, da hier häufigere Maßnahmen zur Entfernung notwendig werden. Durch die schnelle Entwicklung und gute Bodendeckung der Kapuzinerkresse wird Schattengare erreicht und das Unkraut unterdrückt (Vogel 1993). Folglich entsteht durch

größere Abständen zwischen den Pflanzen bezüglich der Feldpflege ein größerer Kostenaufwand. Die Anwendung von Unkrautvernichtern im Arzneipflanzenanbau ist unerwünscht und entsprechend der GAP-Regeln (Richtlinien für die „Gute Landwirtschaftliche Praxis von Arznei- und Gewürzpflanzen“, Brantner et al. 1997) nicht erlaubt.

5.1.3 Bedeutung der Sortenwahl und der genotypische Einfluss auf den GTL-Gehalt

Bloem et al. (2001b) wiesen genotypische Unterschiede von bis zu 40 µmol/g TM zwischen verschiedenen Kapuzinerkressesorten nach. Als Bewertungsmaßstab der untersuchten Pflanzenklone dieser Arbeit, ausgewählt aus einem Screening im Jahr 2003 (Matallana et al. 2006), diente neben den Anbaueigenschaften vor allem das Verhalten während der Ernte- und der Nachernteverfahren. Die selektierten Genotypen trugen nicht zu einer Ertragssteigerung bei. Die Art und Menge des Inhaltsstoffes ist nicht nur genetisch festgelegt, viele Umweltfaktoren wirken auf die Kapuzinerkresse und ihren GTL-Gehalt ein. Im Feld kann, trotz identischer Anbaubedingungen, nicht immer sichergestellt werden, dass tatsächlich einheitliche Bedingungen vorliegen. Die beobachtete individuelle Schwankungsbreite ist auch bei genetisch identischen Klonen sehr hoch, die Analyse des GTL-Gehaltes der Blätter von 100 Einzelpflanzen des Genotyps BG8 zeigte deutliche Unterschiede im GTL-Gehalt der Blätter. Wenn auch im Feldversuch keine Steigerung im GTL-Gehalt durch die Verwendung ausgewählter Genotypen nachgewiesen werden konnte, so wurde durch die Verwendung der Pflanzenklone die große Variabilität der Pflanze im Jahr 2006 reduziert und somit gezielt die Einwirkung von Pflanzabstand, Ernte und Nachernte untersucht.

Eine Sorte von gleichmäßigem Wuchs kann, verglichen mit der Saatmischung, einen stätigen Ertrag an Blattmaterial sichern. Ein buschiges Wachstum der Pflanze mit einem hohen Blattanteil und ohne Rankenbildung sind anzurathende Kriterien.

5.2 Maßnahmen zum Erhalt des GTL-Gehaltes bei Ernte, Transport und Lagerung

Sind die Anbaubedingungen für Kapuzinerkresse optimiert, gilt es die Pflanze durch schonende Behandlung bei Ernte, Transport und Lagerung möglichst unbeschädigt in den Nachernteprozess zu überführen und einen hohen GTL-Gehalt in dem Rohmaterial zu gewährleisten.

5.2.1 Erntebedingungen für einen optimalen GTL-Gehalt

Erntetechnik

Bei schonender Handernte und ohne Verletzungen bei Transport und Lagerung wird das Glucosinolat-Myrosinase-System nicht aktiviert. Ist aber ein Mindestmaß an Verletzung gegeben, beginnt der Abbauprozess des GTLs. Bei der Ernte mit der Sichel oder per Hand ist der Biomassertrag geringer als bei der maschinellen Ernte in der Praxis, zugleich ist die gewonnene Droge allgemein von höherer Qualität und auch der Stängelanteil ist im Verhältnis zum Blattanteil kleiner. Mikus-Plescher et al. (2003) wiesen bereits mit verschiedenen Erntemaschinen nach, dass die Verluste mit dem Grad der Beschädigung des Pflanzenmaterials zunahmen. Thimann (1985) untersuchte die Seneszenz von abgetrennten Kapuzinerkresseblättern und zeigte, dass nur ein Minimum an Verwundung benötigt wurde, um Verluste an Chlorophyll und Proteinen zu verursachen.

Da im Stängelmateriel häufig nur wenig wertgebende Stoffe vorhanden sind, erscheint das Schneiden und Windsichten für Blatt- und Krautware durchaus sinnvoll. Dadurch können bis zu 40 % des Eingangsmaterials vor der Trocknung entfernt werden, was zu einer Verringerung des Energieverbrauches führt (Heindl 1999).

Bestimmung des Erntezeitpunktes

Die Ernte von Heilpflanzen sollte zum Zeitpunkt des größten Wirkstoffgehaltes erfolgen. Es sind sowohl witterungs- als auch entwicklungsbedingte Unterschiede der Glucosinolat-Zusammensetzung nachgewiesen worden.

In dieser Arbeit wurde darauf geachtet, die Kapuzinerkresse zu jeweils dem gleichen Zeitpunkt zu ernten, um die zu untersuchenden Parameter der Versuche vergleichen zu können und den Einfluss der Witterung gering zu halten. Für zukünftige Untersuchungen der Kapuzinerkresse ist das Einbeziehen von Entwicklung der Pflanze und der Einfluss der Tageszeit und -länge gewinnbringend, bedarf jedoch ausführlichen Untersuchungen. Thimann

(1985) wies nach, dass auch Licht und Dunkel einen Effekt auf die Gehalte der Inhaltsstoffe der Kapuzinerkresse haben.

Die Entwicklung der Kapuzinerkresse kann nicht in eindeutige Stadien unterteilt werden, wie beispielsweise bei Raps. Vergleichbares wie die BBCH-Skala von Strauss et al. (1994) konnte für die Zeitpunkte, in denen Kapuzinerkresse geerntet wurde, nicht erstellt werden. Die Samenreife beginnt während der Blütezeit. Das Stadium der Blüte ist nur schwer zu bestimmen. Es konnte beobachtet werden, dass die Kapuzinerkresse innerhalb der Vegetationsperiode, abhängig von den Einflüssen aus der Umgebung, mehrmals blühen kann. Das lässt darauf schließen, dass Einflüsse von Außen die Pflanze in ihrer Entwicklung stark beeinflussen. Es könnte sein, dass die Blütenbildung sich in Abhängigkeit von der Temperatur und der Düngung verändert und daher in den Versuchsjahren unterschiedlich viele Blüten gebildet wurden. Von Sangalli et al. (2004) wurden das Wachstum, die Entwicklung und der Ertrag von Blüten der Kapuzinerkresse abhängig von Düngevarianten untersucht. Die Blütenanzahl erhöhte sich durch Düngung, während der Durchmesser der Blüten und die Blühdauer durch die Behandlungen nicht beeinflusst wurden. Die Kapuzinerkresse bildet bei übermäßiger Stickstoffversorgung nur wenige Blüten (Vogel 1993), ferner stellt sie die Blütenbildung bei Sommerhitze ein (Christman 2005). Die Blütenentwicklung von Kapuzinerkresse wurden auch von Friedman et al. (2005) untersucht. Verlängerung der Tageslichtdauer auf 16 bis 20 Stunden ließ die Blütenentwicklung und ihren Ertrag um das 2- bis 4-fache ansteigen. Ethylen verursachte eine Blütenseneszenz. Lykkesfeldt und Moller (1993) zeigten, dass die Entwicklung der Kapuzinerkresse den GTL-Gehalt beeinflusst.

Möglich ist auch, dass eine Infektion die Blütenbildung einschränkt. Vieira und Barreto (2002) fanden heraus, dass der Pilz *Acroconidiella tropaeoli* (Ellis 1968) durch Schädigung des Blattes die Kapuzinerkressepflanzen beeinflusst. Die Blattwunden waren gelb und punktförmig rund mit braunem Zentrum. Baker und Davis (1950) berichteten von Einbußen im Kapuzinerkressesamenertrag durch *Heterosporium tropaeoli*, der sich auch durch Blattflecken zeigte.

Es empfiehlt sich, die Kapuzinerkresseblätter zweimal im Jahr zu ernten, bevor der Verhältnis Blattanteil relativ zu dem der Stängel geringer wird (Bloem et al. 2001 b). Abhängig von den Witterungsbedingungen zum Ende der Vegetationsperiode, kann ggf. noch eine dritte Blatternte erfolgen. Es konnten aber die Erkenntnisse von Mikus-Plescher et al. (2003) bestätigt werden, dass sich der Blattanteil mit zunehmendem Alter der Pflanze verringert.

Glucosinolat-haltige Pflanzen weisen eine große Variabilität hinsichtlich ihrer Glucosinolatzusammensetzung und -gehalte auf. Brown et al. (2003) konnten eine

abweichende Glucosinolatzusammensetzung der verschiedenen Organe von *A. thaliana* zu verschiedenen Entwicklungsstadien ihres Lebenszykluses nachweisen. Das bekräftigt die Idee, die auch von Bilborrow et al. (1993) gestützt wird, dass Glucosinolate während des Wachstums der Pflanze *de novo* synthetisiert werden. Auch *Brassica napus*-Pflanzen zeigten während der Entwicklung eine veränderte Glucosinolatzusammensetzung und -konzentration (Clossais-Besnard und Larher 1991, Fieldsend und Milford 1994a, b). Hopkins et al. (1998) wiesen die höchsten Glucosinolat-Gehalte in den jungen Pflanzengewebe nach. Temperatur, Sonnenstrahlung und Wasserhaushalt beeinflussen den Gehalt an Glucosinolaten in verschiedenen Brassica-Arten (Sang et al. 1986, Ishii und Saijo 1987, Rosa 1992). Das Glucosinolatmuster einer individuellen Art determiniert zwar genetisch, aber durch den Einfluss exogener Faktoren können erhebliche Konzentrationsschwankungen auftreten. He et al. (2000) konnten zeigen, dass Umweltfaktoren einen starken Einfluss auf die Höhe der Glucosinolat-Gehalte von drei chinesischen Pak Choi Varietäten aufwiesen und vor allem die Qualität des Lichtes und die Tageslänge eine Rolle spielt.

5.2.2 Notwendigkeit eines verlustarmen Transportes des Erntegutes

Für den Transport der Kapuzinerkresseblätter empfiehlt es sich eine trockene Aufbewahrung zu wählen, um zusätzliche Kontaminationen mit Keimen zu vermeiden. Wird das Erntegut schnell zu den Trocknungsanlagen transportiert, werden Wirkstoffverluste vermieden. Luftige Säcke sind sinnvoll oder ein langsam laufendes Fließband.

Dabei sollte ähnlich wie bei anderem empfindlichen Schnittgut (wie Melisse, Pfefferminze, Dill, Spitzwegerich, Estragon) auf die Fallhöhe zwischen den Förderbändern geachtet werden, um die Bildung von Zusammenballungen höherer Dichte und eine damit verbundene schlechtere Trocknung zu vermeiden. Auch beim Häckseln kann es, neben der Aktivierung des Enzyms Myrosinase, zu einer erhöhten mechanischen Beschädigung und Verdichtung des Gutes kommen. Folglich nehmen Gehalte wertgebender Inhaltsstoffe und Durchströmbarkeit durch Luft im Trockner ab (Heindl 2003b).

Sollte die Kapuzinerkresse als frisch zu verzehrende Salatpflanze Einzug in die Supermärkte halten, gilt es die Blätter vor Welkung zu bewahren. Die ebenfalls Glucosinolat-reiche Pflanze Ruccola wird im Gewächshaus in einem neuartigen Anbausystem auf Flachsvliesmatten kultiviert. Die Pflanze wird auf „Ebbe-Flut-Tischen“ mit Nährlösung versorgt, sie verbleibt während des Transportes zum Endverbraucher im Substrat, so dass Qualitäts- und Nachernteverluste minimiert werden (Schaller et al. 2000).

5.2.3 Bedeutung einer behutsamen Lagerung des Erntegutes

Die Zerstörung der Blattoberfläche während der Ernte führte bei Kapuzinerkresse zu GTL-Verlusten von bis zu 100 % in Abhängigkeit der anschließenden Lagerungszeit bei Raumtemperatur. Als Ursache hierfür ist die Aktivierung des Glucosinolat-Myrosinase-Systems (Senfölbombe) zu nennen (Matile 1980, Bones und Rossiter 1996). Wurden die beschädigten Blätter schnell dem Trocknungsprozess zugeführt, wurde ein Großteil des Wirkstoffes erhalten.

In anderen Kulturen erhöhten Verletzungen die Inhaltsstoffkonzentration. Verwundungen erhöhten in Salat Anthocyane und phenolische Säuren und in Mohrrüben den Gehalt phenolischer Inhaltsstoffe (Ferrerres et al. 1997, Babic et al. 1993). Stressinduzierte Erhöhungen der Glucosinolate wurden als Antwort auf mechanische Verwundungen und Insektenbefall (Koritsas et al. 1989, 1991, Birch et al. 1992) beobachtet. Verkerk et al. (2001) beobachteten, dass verschiedene *Brassica* Gemüse, nachdem sie zerhackt wurden, eine Erhöhung aller indolischer und einiger aliphatischer Glucosinolate zeigten. Koritsas et al. (1991) konnten zeigen, dass mechanisch verwundete Stängel von *Sinapis alba* einen um das 1,8-fache höheren GTL-Gehalt enthielten und Rodrigues und Rosa (1999) beobachteten, dass die Lagerung bei Raumtemperatur geernteter *Brassica oleracea* zu einer 1,8 - 5-fachen Erhöhung der aromatischen Glucosinolate führt.

Bei Ruccola bewirkt der Stress, der durch eine vollständige Aberntung der Blätter hervorgerufen wird, einen starken Einfluss auf den individuellen Glucosinolat-Gehalt in den Folgeblättern. Die Glucosinolat-Gehalte stiegen signifikant im nachwachsenden Erntegut. Ruccola erfährt folglich durch das Beschneiden der Pflanze eine Steigerung der inneren Qualität (Nitz und Schnitzler 2002). Offensichtlich verändert ein Zerkleinern von *Brassica* Pflanzen diese nach der Ernte physiologisch und beeinflusst damit den Gehalt der individuellen Glucosinolate. Der Stress hat möglicherweise auch während der Nacherntebehandlung Auswirkungen auf die Kapuzinerkresse, dieses wird im Kapitel 5.3 erörtert.

Die Lage der Myrosinase, wie schon in den Grundlagen beschrieben, kann ein Grund dafür sein, dass die Kapuzinerkresse so empfindlich auf die Zerstörung der Blattoberfläche reagiert.

5.2.4 Wahl der Pflanzenorgane und die Auswirkung auf die Qualität des Erntegutes

GTL kommt in allen Teilen der Pflanze vor. Wie bei Lykkesfeldt und Moller (1993) können große Mengen von GTL in den Samen nachgewiesen werden. Theoretisch ist die ganze Pflanze in der Phytopharmazie einsetzbar (Mikus-Plescher 2003), die nachgewiesenen Unterschiede im GTL-Gehalt zwischen den Pflanzenorganen sind zu berücksichtigen, um Verdünnungseffekte in der geernteten Charge zu vermeiden. Bei der Beerntung der ganzen oberirdischen Pflanze verringert sich der Wirkstoffgehalt durch den hohen Anteil GTL-armen Stängels, daher ist es ratsam, diesen nicht mitzuernten. Der GTL-Gehalt im Stängelmaterial ist mit 10 µmol/g TM im Durchschnitt zu gering für eine pharmazeutische Verwendung. Die Samenernte ist weniger ertragreich als die der Blätter. Darüber hinaus gestaltet sich die Ernte von noch grünen Samen als schwierig und mühselig. Sind die Samen reif, fallen sie auf den Feldboden, sind schlecht zu ernten und verunreinigt. Die Blätter, in denen der Hauptanteil der GTL-Synthese stattfindet und sich ein einheitlich hoher GTL-Gehalt von 30 - 60 µmol/g TM messen lässt, wie bei Lykkesfeldt und Moller (1993) beschrieben, eignen sich für die Ernte besser und auch Bloem et al. (2007) empfehlen die Blätter für eine mögliche großtechnische Ernte der Kapuzinerkresse.

Ein Vorteil der Blatternte ist die Möglichkeit, die Kapuzinerkresse mit einem Schnitt höher über dem Feldboden zu ernten, dieses beugt einer hohen Kontamination durch Keime vor und verbessert die Qualität (Heindl 2003b). Man erhält mehr Rohmaterial und es kann mindestens zweimal im Jahr geerntet werden. Auch Mikus-Plescher et al. (2003) empfehlen 2-3-malige Ernte pro Jahr.

5.2.5 Einfluss von Blattfläche und Blattalter auf ihren GTL-Gehalt

Die Untersuchungen der Blätter zeigten einen Zusammenhang zwischen Blattalter bzw. Blattgröße und dem GTL-Gehalt. Die Blattfläche lag im Mittel bei 19 cm², das entspricht den Erkenntnissen von Zanetti et al. (2004). Im Mittel erreicht das Blatt der Kapuzinerkresse hier eine Größe von 4,5 cm x 4,0 cm. Die in Brasilien festgestellte größte Blattfläche von 17,5 cm x 15,5 cm (Zanetti et al. 2004) konnte mit einer maximalen Fläche von bis zu 100 cm² nicht erreicht werden. Die GTL-Gehalte der kleineren Blätter waren nachweislich höher. Die Verwendung kleiner junger Blätter aufgrund des höheren GTL-Gehaltes kann nur bedingt empfohlen werden, da die selektive Ernte schwierig und zeitaufwendig ist. Da der Gehalt nur um 9,3 µmol/g TM im Mittel höher ist, ist diese Selektion nicht lohnend.

5.3 Gewinnung des Trockenmaterials: Die Bedeutung der Trocknungstechnik für die Höhe des GTL-Gehaltes in der Kapuzinerkresse

Bereits 2000 v. Chr. unterschieden die Ägypter zwischen sonnen- und schattengetrockneten Arzneipflanzen (Heeger 1956). Blätter bestimmter Pflanzen (Petersilie, Wasserrminze) sind besser im frischen Zustand verwendbar, da sie den größten Teil ihres Aromas beim Trocknen verlieren. Anders verhalten sich Brombeerblätter, deren Absud von frischen Blättern geschmacklos ist; trinkbar wird er durch Bereitung aus bereits getrockneten Blättern. Auch bei allen Gerbstoff enthaltenden Blättern, wie z. B. Tee, ist dieses zu beobachten (Schauenberg und Paris 1978). Allgemein gilt, die Qualität dehydrierter Lebensmittel hängt nicht nur von der Qualität des Rohmaterials ab, sondern auch von den Veränderungen durch die Verarbeitung und die Lagerung (Villota et al. 1980, Karel 1991). Um ein Phytopharmakum zu erhalten, ist die Trocknung des Pflanzenmaterials der Kapuzinerkresse von Bedeutung. Durch das Trocknen können mögliche chemische und physikalische Vorgänge hervorgerufen werden und den GTL-Gehalt im Trockengut der Kapuzinerkresse beeinflussen.

Auftretende Verluste des Wirkstoffes GTL während des Trocknungsprozesses sind abhängig von der Technik mit der getrocknet wurde, dabei muss zwischen dem Verlust der gewünschten Inhaltsstoffe durch chemische Abbauprozesse und durch Abgabe an die Trockenluft unterschieden werden (Regier 2005).

Als Trocknungsmethoden wurden Gefriertrocknung, Ofentrocknung (bei 40 °C im Trockenschrank mit Frischluftzufuhr), Mikrowellentrocknung, Hordentrocknung, Kondentrocknung, Mikrowellenvakuumtrocknung und Vakuumtrocknung angewendet. Die Vor- und Nachteile der Trocknungsmethoden werden im Folgenden vergleichend und bewertend diskutiert.

Bewertung des Wirkstoffgehalts und der Anwendbarkeit der Trocknungstechniken

Gefriertrocknung

Die gefriergetrockneten Kapuzinerkresseblätter hatten im Vergleich zur Anwendung der Mikrowellen- oder Ofentrocknung mit Frischluftzufuhr bei 40 °C einen niedrigeren GTL-Gehalt. Mittels Gefriertrocknung getrocknete Pflanzen sollten ursprünglich als Referenz dienen, um den vorliegenden natürlichen GTL-Gehalt der Pflanze ohne jeglichen Trocknungsverlust zu bestimmen. Das Schockgefrieren der Proben mit anschließender Gefriertrocknung sollte den höchsten GTL-Gehalt erbringen, da hier die enzymatischen Prozesse abrupt gestoppt werden und so nahezu keine Degradation des Glucosinolates stattfindet.

Tambunan et al. (2001) lyophilisierten andere Heilkräuter erfolgreich, so ist die Qualität der gefriergetrockneten Kräuter Medizinginger (*Zingiber officinale*) und Javanesischer Pfeffer (*Piper retrofractum*, Vahl) etwas schlechter als die Qualität des Rohmaterials, aber höher als im Ofen bei 35 - 40 °C getrockneten Proben (Tambunan et al. 2001).

Die Gefriertrocknungsversuche wurden wie allgemein zur Trocknung und Analyse von Glucosinolaten in Feldfrüchten üblich durchgeführt. Die geringen GTL-Gehalte, die aus gefriergetrockneten Proben hervorgehen, können unterschiedliche Ursachen haben. Die Gefriertrocknung ist ein komplexes Verfahren, das direkt mit dem jeweiligen zu trocknenden Gut abgestimmt werden sollte. Coumans et al. (1994) untersuchten die Aufrechterhaltung des Aromas während des Gefriertrocknens und sie gehen davon aus, dass während des Prozesses bei richtiger Handhabung thermische Abbaureaktionen ausgeschlossen sind. Durch Sublimation verlassen die Eiskristalle die Probe über Poren und die Sublimations- oder Eisfront weicht zurück in das zu trocknende Material. Sie vermuteten, dass Teile der Aromakomponenten permanent von gelösten Feststoffen eingeschlossen werden und auch Einkapselungen in Eiskristalle auftreten können. Dazu passt die Beobachtung, dass nach der Gefriertrocknung von Kapuzinerkresse das Abtauwasser der Gefriertrocknungsanlage leicht nach Isothiocyanaten gerochen hat. Das ist ein Beleg für einen nicht einwandfreien Ablauf des Gefriertrocknungsprozesses.

Vergleichende Messungen von Kapuzinerkresseblättern des Versuchsfeldes in Gefriertrocknungsanlagen des Institutes für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der FAL und des Institutes für Pflanzenbiologie der TU Braunschweig mit dem Gerät des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde erbrachten vergleichbare Gehalte und sprechen so für

eine andere Ursache der geringen GTL-Gehalte. Die möglichen anderen Gründe, die zu einem geringen GTL-Gehalt beitragen können, sind folgende:

Die geringen GTL-Gehalte der gefriergetrockneten Kapuzinerkresseblätter können auch durch mögliche Gefrierpunktsniedrigungen durch Pflanzenstoffe in der Kapuzinerkresse begründet werden. Viele Pflanzen und Tiere in kalter Umgebung akkumulieren lösliche Moleküle in ihren inter- und extrazellulären Lösungen (Leopold 1986, Lee 1989, Koster und Lynch 1992), um ihren Organismus kälteresistent zu machen. Eine weitere Wirkung davon ist, dass sie resistenter gegen Dehydrierung sind. Die löslichen Stoffe, die in einer hohen Konzentration von der Pflanze toleriert werden, enthalten eine Vielzahl von Zuckern. Hohe Konzentrationen dieser Moleküle erhöhen die Viskosität und das reduziert die Diffusion in Lösungen. In Folge dessen wird der Metabolismus verlangsamt. Bei einer Zellzerstörung durch Gefrieren oder Austrocknung werden bei Spezies, die gefriertolerant oder tolerant gegenüber Trockenheit sind, so genannte Cryoprotektanten, insbesondere Saccharose und Trehalose akkumuliert, um den Schaden zu reduzieren oder abzuwenden (Leopold 1986).

Außerdem hat Eis ein größeres Volumen als Wasser; ein durch Eiskristalle hervorgerufener Aufbruch der Zellkompartimente könnte die Folge sein. Beim Prozess der Gefriertrocknung findet das Gefrieren zunächst außerhalb der Zelle statt, der osmotische Druck führt zu einem schnellen Auslaufen des Wassers aus der Zelle (Wolfe und Bryant 1992, 2006). Bei der Gefriertrocknung können an den einzelnen Pflanzenproben ungleichmäßige Spannungen auftreten, das kann Verformungen der Zellen zur Folge haben. Die Muster der Rissbildung durch Gefriertrocknen wurden von Nei (1964) untersucht. Spiess (1964) wies Qualitätsunterschiede bei verschiedenen Gemüse- und Obstsorten bezüglich ihrer Eignung zur Gefriertrocknung nach, zwischen einzelnen Sorten gab es Unterschiede in der Qualität (Farbe, Geschmack, Konsistenz) des Trockenproduktes.

Chemische Prozesse, die in der Kapuzinerkresse stattfinden und die den GTL-Gehalt beeinflussen, können Ursache der niedrigen Wirkstoffkonzentrationen bei gefriergetrockneten Proben sein. Auch die Farbveränderung von Brombeeren (*Rubus fruticosus*) bei Frost von Schwarz nach Rot ist auf ausgelöste Zellzerstörung zurückzuführen. Es wurde von Polesello et al. (1986) aufgeklärt, dass durch den Gefrierprozess die Farbveränderungen der Brombeere verursacht werden und die Anthocyaninkonzentration dabei sinkt.

Folglich ist für im Feld angebaute Kapuzinerkresse sind andere Trocknungsmethoden erforderlich, um ein kommerziell lohnendes Verfahren zu ermöglichen (Bloem et al. 2001b, 2007).

Trocknung im Trockenschrank bei 40 °C mit Frischluftzufuhr

Der GTL-Gehalt von bei 40 °C im Trockenschrank mit Frischluftzufuhr getrocknetem Blattmaterial ist viel höher als der der gefriergetrockneten Proben. Es ist möglich, dass die Trocknungstemperatur von 40 °C im Ofen mit Frischluftzufuhr anders als die Gefriertrocknung zu einem Anstieg des GTL-Gehaltes in Kapuzinerkresse nach der Ernte beiträgt (Bloem et al. 2007). Für den höheren Wert der im Trockenschrank getrockneten Blätter ist vermutlich eine Neusynthese von GTL im Zuge der Trocknung mitverantwortlich. Bloem et al. (2007) erwähnten bereits, dass der Trocknungsprozess in einem Ofen mit Frischluftzufuhr bei 40 °C verglichen mit der Probennahme in flüssigem Stickstoff und der anschließenden Gefriertrocknung höhere GTL-Gehalte der getrockneten Kapuzinerkresseblätter lieferte, die um das 1,4 bis 3,2-fache über denen der gefriergetrockneten Proben lagen und dass es möglich ist, den Gehalt von GTL in Kapuzinerkresse durch Nachernteverfahren zu erhöhen.

Vergleiche der Konzentrationen von Aromakomponenten in gefrorenen, ofengetrockneten und gefriergetrockneten Blättern der Himbeere ergaben, dass frische, grüne Blätter nach der Trocknung im Ofen bei 35 °C mehr Aroma als gefriergetrocknete enthielten. Diese Trocknungstechnik begünstigt die Bildung von alpha-Terpineol, das in gefrorenen, grünen Himbeerblättern nicht vorkommt. Die Ofentrocknung lässt das Verhältnis der angenehmen Aromakomponenten in den fermentierten Blättern ansteigen (Kirsi et al. 1989).

Ursachen für die Veränderungen (Zunahme) des GTL-Gehaltes von Kapuzinerkresse während der Trocknung

Vegetative Zellen mit einer großen Wasservakuole, deren Protoplasma eine dünne Oberflächenschicht bildet, können laut Iljin (1935) erhebliche Wassermengen verlieren, ohne dabei ihre Lebensfähigkeit einzubüßen. Langsames Austrocknen steigert ihre Überlebensfähigkeit. Eine Trocknung im Trockenschrank bei 40 °C ähnelt dem Vorgang des langsamen Welkens der Blätter durch Wassermangel und es ist zu vermuten, dass die Zellen intakt bleiben. Da die Blätter der Hauptort der Synthese für GTL sind, ist es sehr wahrscheinlich, dass sich Intermediärprodukte der GTL-Synthese in den Blättern wiederfinden (Lykkesfeldt und Moller 1993). Bloem et al. (2007) stellten die Hypothese auf, dass es sich bei dem starken Anstieg von GTL bei der Trocknung der Blätter bei 40 °C eher um eine Neuordnung von Intermediärprodukten handelt, als um eine *De novo*-Synthese. Eine Induktion einer Neubildung über die Proteinbiosynthese dauert länger, als eine Hydrolyse aus möglichen Vorstufen. Eine Bildung von Glucosinolaten aus entsprechenden Vorstufen ist

allerdings zweifelhaft, da solche Verbindungen bislang nicht bekannt sind. Es ist unwahrscheinlich, dass die Akkumulation derartiger Glucosinolat-Derivate bei entsprechenden Analysen übersehen wurde. Eine entsprechende Induktion durch Trockenstress kann relativ einfach mit der Bildung von GABA nachgewiesen werden (siehe unten).

Allgemeine Stressreaktionen der Pflanze auf die Trocknung

Einwirkungen von Temperatur, Witterung, Bodenbedingungen und biotischem Stress spielen eine wichtige Rolle im Feldanbau von Kapuzinerkresse. Derartige Umwelteinflüsse können den Stoffwechsel aktivieren, allerdings kann aus einem aktivierenden Umweltfaktor bei zu hoher Amplitude ein Stressor für die Pflanze werden (Larcher 1987, Brunold et al. 1996, Hühn et al. 1999).

In der Literatur werden sowohl die Zu- als auch die Abnahme von Sekundärmetaboliten bei einer Stressinduktion beschrieben. Auch Nacherntebehandlungen stellen derartige Stresssituationen dar, z. T. werden manche Effekte sogar technisch genutzt, um den Gehalt des gefragten Stoffes zu erhöhen (Weichmann 2000, Cisneros-Zevallos 2003).

Beispiele sind die Methyljasmonataufnahme von intakten Pflanzen (Doughty et al. 1995) oder UV-Bestrahlung von Gemüse nach der Ernte (Monde et al. 1991). Pflanzen können auf verschiedene Stressfaktoren in entgegengesetzter Weise reagieren. Daher ist es notwendig, die Zusammenhänge zwischen Stress und direkten physiologischen Reaktionen bezüglich der Produktansprüche zu verstehen (Cisneros-Zevallos 2003).

Ein möglicher Auslöser für den starken Anstieg des GTL-Gehaltes beim Trocknen im Trockenschrank bei 40 °C kann Stress sein. Der auf geerntete Kapuzinerkresseblätter wirkende Trockenstress kann die Konzentration der relevanten Inhaltsstoffe im Rohmaterial für die Phytopharmazie möglicherweise erhöhen. Die Akkumulation von Geschmacks- und Aroma-Vorstufen ausgelöst durch Trockenstress ist eine plausible Erklärung für die Beobachtungen beim Trocknungsvorgang von Kapuzinerkresse. Freeman und Mossadeghi (1971) zeigten, dass unter Stressbedingungen große Mengen von Aminosäuren und Zuckern angesammelt wurden. Das ist von besonderer Relevanz für Glucosinolat in Pflanzen, das sich aus Aminosäuren und Zuckern bildet. Jensen et al. (1996) beobachteten eine Glucosinolatakkumulation in Raps, wenn das Wasserpotential absank. Bekanntlich reichern sich Sekundärmetabolite unter solchen Bedingungen an, möglicherweise als ein Resultat von Turgor-reagierender Genexpression (Bradford und Hsiao 1982, Gershenzon 1984).

GABA- Nachweis von Pflanzenstress beim Trocknen

Durch den Wasserverlust bei der Trocknung des Pflanzenmaterials werden in noch lebenden Zellen Stoffwechselprozesse als Schutz vor einer möglichen Austrocknung der Zelle induziert. Die Stressinduktion führt zu der Bildung und Akkumulation von GABA (Serraj et al. 1998, Shelp et al. 1999, Kinnersley und Turano 2000, Rai 2002, Bytof et al. 2005). Die Bildung von GABA erfolgt durch eine einfache Decarboxylierung von Glutaminsäure (Bown und Shelp 1997, Bouché et al. 2004). Diese Reaktion wird von einer Glutamat-Decarboxylase katalysiert, diese wird rasch über das Ca^{2+} -Calmodulin-System aktiviert (Snedden et al. 1995, Yevtushenko et al. 2003). Somit kommt es ohne großen Zeitverlust direkt nach Auftreten des Stresses zur Bildung von GABA. Die Akkumulation von GABA ist ein Indikator für Stress, es lässt sich der durch Nachernte- und Trocknungsprozesse induzierte Stressmetabolismus nachweisen (Bytof 2003, Bytof et al. 2005). Gründe für die Unterschiede der GABA-Konzentrationen bei den verschiedenen angewendeten Trocknungstechniken liegen im unterschiedlichen Zeitfenster, in dem Stressreaktionen ablaufen können. Es wurde deutlich, dass die Zeitspanne zwischen Induktion des Trockenstresses durch einsetzenden Wasserverlust und dem vollständigen Erliegen aller Stoffwechselreaktionen durch übermäßigen Wassermangel entscheidend ist und unterschiedliche Ausprägungen der entsprechenden Stoffwechselvorgänge nach sich zieht (Bytof 2003, Selmar und Bytof 2007). Während der 40 °C-Trocknung der Kapuzinerkresse wird GABA akkumuliert. Die Trocknung im Ofen bei verschiedenen Temperaturen von 30 - 80 °C ergab, dass eine niedrige Trocknungstemperatur von 40 °C für Kapuzinerkresse am besten geeignet ist. Das bestätigt die Ergebnisse von Bloem et al. (2001b) und Mikus-Plescher et al. (2003), dass 60 °C und 80 °C als Trocknungstemperatur ungünstig sind, dieses passt zu der Theorie des langsamen Welkens. Daraus lässt sich schließen, dass in der zu trocknenden Kapuzinerkresse bei Trocknungstemperaturen zwischen 40 °C und 70 °C während des Trocknungsprozesses eine Stressreaktion abläuft. Bei höheren Trocknungstemperaturen ist der Metabolismus der Pflanze zum Erliegen gebracht, folglich finden keine Änderungen des Stoffwechsels mehr statt. Im Vergleich zur Gefriertrocknung liegt der GABA-Gehalt der Trocknung im Trockenschrank bei 40 °C deutlich darüber. Der GABA-Gehalt ist in den gefriergetrockneten Proben niedriger, eine Stressantwort der Pflanze kann aufgrund des Schockgefrierens ausgeschlossen werden. Die schonende Trocknung bei 40 °C weist weit mehr GABA und damit nachweislich mehr Stress in der Pflanze auf.

Kontamination des Pflanzenmaterials bei niedrigen Temperaturen

Auch wenn die hohen GTL-Gehalte für die 40 °C-Trocknung sprechen, sind bei derart niedrigen Trocknungstemperaturen, anders als bei der Gefriertrocknung, Kontaminationen nicht auszuschließen. Vorteile der hohen GTL-Gehalte, die die 40 °C-Trocknung liefert, werden durch das Qualitätskriterium der von Keimen unbelasteten Herstellung gemindert. Autolytische und mikrobielle Prozesse sowie nachträgliche Kontaminationen können in den empfindlichen Verfahrensschritten zwischen Ernte und Aufbereitung die Qualität des Rohmaterials sehr beeinträchtigen. Die Trocknung bei 40 °C ist möglicherweise zu gering, um das Trockengut vor Kontamination mit Bakterien oder Pilzen zu schützen. Beispielsweise ist Baldrian wie Kapuzinerkresse temperaturempfindlich und sollte nicht über einer Temperatur von 40 °C getrocknet werden, damit der Mindestgehalt an ätherischen Ölen von 0,5 % erreicht wird. Trotz dieses Wissens wird bei 45 - 50 °C getrocknet, um die Leistung des Trockners zu erhöhen und die Keimbelastung des Trockenproduktes zu verringern (Heindl et al. 1993). Bauermann (1996) rät jedoch dazu, die mikrobiologischen Belastung erst kurz vor dem Verkauf zu untersuchen, da sich Keimgehalte im Gegensatz zu Schwermetallgehalten und Pflanzenschutzmittelrückständen bei ungünstiger Lagerung durchaus verändern können.

Mikrowelle

Bereits auf dem Feld besteht eine Verkeimungen der Pflanzen (Graf et al. 2002). Neben den GTL-Verlusten sind Verluste von getrocknetem Rohmaterial durch Verkeimung möglich. Die Mikrowellentrocknung stellt eine Alternative dar, um Keimzahlerhöhungen, die insbesondere bei niedrigen Trocknungstemperaturen, eintreten, zu vermeiden (Hörsten und Saghir 1999, Heindl 2003b). Die Keimzahlreduzierung durch die Mikrowelle ist bei den Arzneipflanzen Baldrian und Artischocke (Heindl 2005) oder Majoran (Hartulistiyoso 1999) effektiv. Die Nutzung der Mikrowellenenergie gehört zu den von Hartulistiyoso (1999) beschriebenen möglichen Verfahren (wie UV-Strahlung, Ionisierende Strahlung, Gasbehandlung etc.), um speziell Gewürze zu entkeimen.

Bereits 1979 wurden in den USA bei der Nachtrocknung von Zwiebeln Mikrowellen eingesetzt. Es zeigte sich eine Reduzierung der Keime um 90 % und eine Energiekostensparnis um 30 % (Electric Power Research Institute 1984). Auch Park et al. (2006) von der Universität Florida wiesen unlängst die Inaktivierung von Mikroben durch wenige Minuten Mikrowellenstrahlung nach.

Die mikrowellengetrockneten Proben hatten mit der 40 °C-Trocknung vergleichbare GTL-Gehalte, folglich ist auch die Mikrowellentrocknung für die Kapuzinerkresse zu empfehlen. Der Trocknungsprozess ist bei der Mikrowellentrocknung schneller; das erklärt den Erhalt des GTLs in mikrowellengetrockneten Proben der Kapuzinerkresseblätter.

Die positiven Effekte des schnellen Erhitzens könnten zum einen auf chemische Prozesse beim Trocknungsvorgang zurückgeführt werden. Die schnelle Trocknung minimiert die Zeit für Diffusion der flüchtigen Anteile aus dem Gewebe. Eine Kombination aus erhöhter Einbuße der flüchtigen Anteile bei anderen Techniken verglichen mit mikrowellengetrockneten Proben oder mehr Hydrolyse der nicht flüchtigen Konjugate der mikrowellengetrockneten Proben bei der Extraktion, können auch für diese Unterschiede verantwortlich sein (Yousif et al. 1999).

Es ist aber auch möglich, dass sich die Pflanze weder chemisch noch physikalisch ändert und Wanderungen kleinerer Moleküle ausgeschlossen sind. Die mechanisch sehr empfindliche Kapuzinerkresse wird berührungsfrei und schnell erhitzt und damit schonend getrocknet. Die beschleunigte Trocknung ist durch den erhöhten Dampfdruck im Produktinneren zu erklären, die Kapillaren werden auch noch bei niedrigen Temperaturen offen gehalten und die Flüssigkeit gelangt zur Oberfläche (Heindl 1993). Auch enzymatische Prozesse werden durch die hohe Trocknungsgeschwindigkeit eingeschränkt (Heindl und Müller 2002). Eine kurzzeitige Einwirkung von Mikrowellen bewirkt bei einigen Arzneipflanzen einen besseren Erhalt der ätherischen Öle und kaum Veränderungen in der Zusammensetzung (Koller et al. 1998). Die, bei einer normalen Warmlufttrocknung teilweise auftretende und durch kondensierenden Wasserdampf an den Blüten verursachte, Mikrodestillation von ätherischen Ölen kann hier ausgeschlossen werden.

Befinden sich, wie beim Rosmarin, Drüsenhaare und -schuppen an der Blattoberfläche, platzen diese bei einer Mikrowellenerwärmung und führen zu Verlusten der ätherischen Öle. Sind die Inhaltsstoffe, wie bei der Petersilie, mehr im Inneren der Pflanze in Sekretgängen eingelagert, dann können im Vergleich zur Warmlufttrocknung höhere Retentionsgrade erreicht werden (Heindl und Müller 2002).

Es wurde der Einfluss der Trocknung auf die Qualität von Rosmarin in der Abhängigkeit von der Mikrowellenleistung untersucht. Der Verlust der ätherischen Öle stieg mit zunehmender Leistung (Raghavan und Koller 1995). Für die Kapuzinerkresse ergab die Leistungsvariation keine Änderung im GTL-Gehalt, folglich kann, wenn die Leistung der Mikrowelle die wertgebenden Inhaltsstoffe nicht beeinträchtigt, bei geringster Leistung und damit niedrigstem Energieaufwand getrocknet werden.

Thijssen (1972) beschreibt, dass Geschmacksstoffe wegen ihrer hohen relativen Flüchtigkeit die Neigung haben schneller als Wasser zu verdampfen. Der Verlust an flüchtigen Geschmackskomponenten von der zu trocknenden Substanz wird daher von der Geschwindigkeit bestimmt, mit der die Geschmacksstoffe diffundieren können.

Durch den Einsatz der Mikrowelle kann die Arzneipflanzentrocknung beschleunigt und die Qualität (Farbe, Form oder Gehalt an wertgebenden Inhaltsstoffen) oft verbessert werden (Hörsten und Saghir 1999, Heindl und Müller 2002). Untersuchungen von Arzneien wie Kamillenblüten, Hopfendolden, Johanniskraut, Pfefferminzblättern und Zwiebelscheiben ergaben einen Einfluss der Mikrowellenenergie auf Trocknungszeit und Qualität (Heindl und Müller 2002). Hofman (1965), Gorakhpurwalla et al. (1975), Farmer und Brusewitz (1980) und Shivhare et al. (1994) verwendeten Mikrowellenöfen als eine alternative Methode um Roggen, Getreide, Luzerne und Mais zu trocknen.

Cesare et al. (2003) verglichen die Änderungen in der chemischen Zusammensetzung von Basilikumblättern, die durch die verschiedenen Trocknungsverfahren (Mikrowelle, Frischlufttrocknung 50 °C, Gefriertrocknung) verursacht wurden. Die charakteristischen flüchtigen Verbindungen des Basilikums wurden bei der Mikrowellentrocknung am besten erhalten. Chlorophyllpigmente wurden erhalten und die Farbe des unbehandelten Basilikums konserviert. Kamille enthielt beispielsweise bis zu 38 % mehr ätherisches Öl im Vergleich zu warmluftgetrockneten Proben, was auf die beschleunigte Trocknung zurückzuführen ist (Heindl und Müller 2002). Bei der Trocknung von Majoran mit Mikrowellenenergie konnte der Gehalt an ätherischem Öl sogar um 20 % gesteigert werden (Rusli 1998). Auch bei Karotten- (Prabhanjan et al. 1995, Torringa et al. 1996) und Kartoffelscheiben (Bouraoui et al. 1994, Khraisheh et al. 1997) konnte die Qualität und die Trocknungsdauer durch den Einsatz der Mikrowelle verbessert werden. Trocknungsuntersuchungen mit Bananen ergaben für das Trocknen mit einer handelsüblichen Mikrowelle im Vergleich zu einer Ofentrocknung 17- bis 20-mal kürzere Trocknungszeiten. Dadurch konnte die Energieeffizienz der Trocknung in der Mikrowelle verbessert werden (Gracia et al. 1988). Oliveira und Franca (2002) beschreiben detailliert die Verteilung der Mikrowellenleistung und die Endtemperatur eines Feststoffes. Die Ergebnisse zeigen, dass Energieabsorption effektiver ist als der Anstieg des dielektrischen Verlustes. Durch die Anwendung von Mikrowellenenergie schneller und effizienter getrocknet wurden außerdem Blaubeeren (Venkatachalapathy und Raghavan 1997), Alfalfa (Farmer und Brusewitz 1980), Mais (Böckelmann und Lücke 2005) und Getreide (Gorakhpurwalla et al. 1975).

Mikrowellenvakuumtrocknung

Die Trocknung von Kapuzinerkressepflanzen in der Mikrowellenvakuumversuchsanlage der Universität Karlsruhe ergab, verglichen mit den Trocknungen Gefriertrocknung und Ofentrocknung (bei 40 °C im Trockenschrank mit Frischluftzufuhr), geringere Gehalte des Wirkstoffes GTL. Hohe Verluste durch diese Technik entsprachen nicht den Erwartungen und die Ergebnisse zeigen, dass die Methode den Anforderungen einer Trocknung von Kapuzinerkresse nicht entspricht. Merk und Püschner (1999) verweisen darauf, dass bei dieser Trocknungstechnik Anpassungen an prozessspezifische Anforderungen (Fördersystem, Mikrowellenstrahler, dielektrische Eigenschaften) des Produktes notwendig sind, und somit der Entwicklungsanteil höher ist als bei anderen Trocknungstechniken. Böhm et al. (2006) stellten am Beispiel von drei Erdbeersorten fest, dass die Mikrowellenvakuumtrocknung die Inhaltsstoffe im Vergleich zur Konvektivtrocknung und Gefriertrocknung reduziert.

Die Mikrowellenleistung und der Vakuumdruck beeinflussen die Trocknungsrate. Der angelegte Druck begrenzt die Temperatur, die Siedetemperatur von Wasser liegt bei einem Absolutdruck von 5 kPa bei 33 °C (Regier 2005). Negative Effekte können bei der Mikrowellentrocknung auftreten, wenn es zu Funkenentladungen oder Ionisationseffekten kommt. Außerdem kann das Gut durch schnell entstehenden Wasserdampf geschädigt werden (Regier 2005).

Die Wahl der Mikrowellenvakuumtrocknung für die Trocknungsversuche begründet sich mit folgenden positiven Ergebnissen aus der Literatur (Meisel 1986, Gunasekaran 1999). Erstmals wurde von der McDonnell Company (Gardner und Butler 1982) über den Nutzen von Mikrowellenvakuumtrocknungssystemen berichtet. Niedrigere Temperaturen und weniger Energieverbrauch, sowie eine 5- bis 50-mal schnellere Trocknung, als bei herkömmlichen Prozessen, sprachen für diesen Trocknungsprozess. Die Mikrowellenvakuumtrocknung führte bei den Arznei- und Gewürzpflanzen Johanniskraut, Sonnenhut, Basilikum und Oregano (Durance 1999, 2000) zu höherer Qualität und kürzeren Trocknungszeiten als die herkömmlichen Trocknungsmethoden. Untersuchungen an Kohl (*Brassica olerace*) (Yanyang et al. 2004), Blaubeeren (Vaghri et al. 2000), Basilikum (Baritoux et al. 1992, Yousif et al. 1999, Durance 1999, 2000), Karotten (Lin et al. 1998), Baldrian (Heindl et al. 1993), Koriandersamen (*Coriander sativum*) (Braja et al. 1989) und Zwiebeln (Meisel 1986) ergaben eine verkürzte Trocknungszeit und häufig eine Steigerung der Inhaltsstoffe im Trockenprodukt verglichen mit anderen Trocknungstechniken.

Bezüglich der Qualität konnten im Vergleich mit gefriertrocknetem und frischem Oregano vergleichbare Ergebnisse für mikrowellenvakuumgetrockneten Oregano (Yousif et al. 2000)

erzielt werden. Bei der Trocknung von Bananen (Drouzas und Schubert 1996), Moosbeeren (*Vaccinium macrocarpon*) (Yongsawatdigul und Gunasekaran 1996) und Baldrian (Heindl et al. 1993) wurde eine verbesserte Produktqualität verglichen mit Proben anderer Trocknungstechniken erreicht. Meisel (1986) beschreibt die Mikrowellenvakuumtrocknung als einen interessanten Mittelweg zwischen den klassischen Trocknungstechniken und der Gefriertrocknung. Die Trocknung bei kontrollierten und niedrigen Temperaturen und unter Vakuum garantiert gleichwertige oder bessere Qualität im Vergleich zur Gefriertrocknung.

Kondenstrocknung

Eine Umschichtung während des Trocknungsprozesses wird allgemein als hilfreich beschrieben. Im Falle der Kondenstrocknung wurde wahrscheinlich durch das Umwälzen die Blattprobe sowohl in der Papiertüte, als auch im Wäschebeutel beschädigt. Folglich wurde das Glucosinolat-Myrosinase-System aktiviert und das Glucotropaeolin abgebaut, was zu den niedrigen Gehalten in den getrockneten Kapuzinerkresseblättern führte. Die Fixierung der Blätter während der Kondenstrocknung erbrachte höhere Gehalte, die aber unter denen der im Trockenschrank getrockneten Proben lagen.

Vakuumtrocknung

Auch die Trocknung im Vakuumtrockenschrank bei 40 °C erbrachte keinen einheitlich hohen GTL-Gehalt im Trockenprodukt. Weder Trocknungsdauer noch Qualität des Trockengutes sprechen für die Vakuumtrocknung, dabei wird Vakuumtrocknung für temperaturempfindliche Produkte empfohlen (EL-A Verfahrenstechnik GmbH, www.elavt.de). Die Trocknung findet bei Verdampfung mit erniedrigtem Siedepunkt in einer Unterdruckkammer statt. Die Feuchtigkeitsfront zieht sich zurück und die thermische Leitung wird abgesenkt (Schiffmann 1995).

Das Kondensat wird bei der Vakuumtrocknung nicht aufgefangen und muss manuell entfernt werden, dabei muss der Trocknungsprozess unterbrochen werden. Im Vakuumtrockenschrank große Proben zu trocknen, ist problematisch, da durch mehr Blätter mehr Feuchtigkeit im begrenzten Raum auftritt, das spiegelt sich auch in den GTL-Gehalten wider.

Eine Hypothese, warum die Trocknungstechniken Vakuumtrocknung und auch Mikrowellenvakuumtrocknung und Gefriertrocknung für die Trocknung der Kapuzinerkresse ungeeignet sind, kann in der Verwendung von Vakuum begründet werden. Ob das Vakuum für geringere GTL-Gehalte sorgte, sollte durch Beobachtungen der Eigenschaften des Pflanzenmaterials der Kapuzinerkresse untersucht werden. Hier besteht weiterer

Forschungsbedarf, um zuverlässige Zusammenhänge nachzuweisen. Trockenprodukte neigen im Vakuum zum Aufschäumen und bekommen Isoliereigenschaften, dadurch lässt sich die Kontaktwärme nur über dünne Feststoffbrücken in das Produkt leiten und trotz höherer Temperaturbelastung sind längere Trocknungszeiten die Folge (Heindl und Müller 2002).

Hordentrocknung

Vergleicht man die Temperaturen der Proben mit den GTL-Gehalten wird deutlich, dass der Abstand zum Gebläse und damit die Temperatur entscheidend für ein erfolgreiches Trocknen sind. Im Jahr 2005 betrug die Temperatur während der Hordentrocknung 50 °C. Der Temperaturanstieg von 10 °C bei der Frischlufttrocknung dürfte zu den gemessenen GTL-Verlusten von 23 % geführt haben. Die Erwärmung beschleunigt den Trocknungsprozess. Bei einer Schütthöhe von 3 - 5 cm betrug die Trocknungsdauer 12 - 16 Stunden. Ein Nachteil dieser Trocknung ist, dass die Außentemperatur, die durch den Wechsel von Tag und Nacht verursacht wurde, nicht berücksichtigt werden konnte, da die Trocknungsapparatur im Gewächshaus diesen Einflüssen ausgesetzt war. Die Temperatur nahm mit größerem Abstand zwischen Trockengut und Gebläse ab, der GTL-Gehalt und die Trocknungsdauer zu.

Energieeffizienz der angewendeten Trocknungsverfahren

Die hohen Energiekosten sind außerdem ein Auswahlkriterium, um das optimale Verfahren zur Trocknung von Kapuzinerkresse angeben zu können, da die Trocknungstechniken sich in der Frage der Energieeffizienz unterscheiden. Die Prozessführung während der Trocknung nimmt maßgeblich Einfluss auf die Drogenqualität. Durch eine kürzere Trocknungsdauer sinkt gleichzeitig der spezifische Energiebedarf. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sollte eine möglichst hohe Trocknungstemperatur angestrebt werden, jedoch stellt die Qualität einen begrenzenden Faktor dar. Bei speziellen Produkten wird bewusst mit einer höheren Temperatur gearbeitet, um die Keimbelastung des Trockenproduktes zu reduzieren – allerdings auf Kosten des Wirkstoffgehaltes (Heindl und Müller 1997). Folglich ist die 40 °C-Trocknung im Trockenschrank für Kapuzinerkresse uneignet, obwohl die Kosten für Kontrolle, Regulierung und Überwachung niedrig sind und die GTL-Gehalte höher.

Die Anwendung der Mikrowelle ist auch in diesem Fall hervorzuheben, sie bietet eine hohe Energie- und Betriebseffizienz (Schiffmann 1995) und die Mikrowelle garantiert eine hohe Trocknungsgeschwindigkeit (Thuery 1983, Heindl und Müller 2002, Heindl 2003a). Auch Merk und Püschner (1999) und Bonafonte et al. (2002) beschreiben eine Reduzierung der Trocknungsdauer durch die Nutzung der Mikrowellenenergie beim Trocknen. Es werden bei

der Mikrowellentrocknung sehr hohe Energiedichten verwirklicht, die die Trocknungszeit bis zu 90 % verringern. Bei gleichem Durchsatz ergeben sich für den Trockner mit Mikrowellenenergie Vorteile hinsichtlich des Platzbedarfes und der Reinigung (Heindl und Müller 2002).

Die Mikrowellentechnik wird häufig in Kombination mit Vakuum-, Gefrier- oder Konvektionstrocknung verwendet. Die Gefriertrocknung verursacht hohe Kosten und ist schwierig zu regulieren (Regier 2005). Der Preis der produzierten Ware wird damit angehoben, da das Gefriertrocknen von gefrorenem Material mit höchsten Investitionen und Energiekosten verknüpft ist.

Auch die Wertschöpfung des Produktes ist entscheidend, ist die Spanne zwischen Frisch- und Trockenmassepreis gering, wird eine Trocknungstechnik mit geringer Energieeffizienz zu teuer. Die Gefriertrocknung erweist sich folglich auch in diesem Zusammenhang als ungeeignet, da bei Arzneipflanzen, insbesondere der Kapuzinerkresse enorme Aufwendungen zur Feldpflege notwendig sind, um ein qualitativ hochwertiges Frischmaterial ernten zu können. Das Beispiel der Arzneipflanze Baldrian hat einen hohen Wertschöpfungsgrad auf dem Markt. Der Rohwarenpreis liegt deutlich unter dem des Kilopreises des getrockneten Produktes, daraus ergibt sich ein Kostenspielraum in der Herstellung (Heindl et al. 1993). Produkte mit geringem Marktwert wie Karotten, Kartoffeln oder Petersilie werden meist luftgetrocknet, hochwertige Produkte, wie Bananen, Erdbeeren oder Broccoli vorwiegend vakuum- oder vakuumgefriergetrocknet. Die Tabelle (Tab. 5-1) zeigt die spezifischen Investitionskosten und Energieanforderungen der verschiedenen Trocknungsprozesse im Vergleich. Der höhere Kostenaufwand der Gefriertrocknung im Vergleich zu den anderen Prozessen ist klar erkennbar.

Tab. 5-1: Spezifische Investitionskosten und Energieaufwand für verschiedene Trocknungstechniken (Heindl et al. 1993).

Trocknungsprozess	Spez. Investitionskosten für den gleichen Durchlauf (Bezug Luft- Band-Trocknung) [%]	Spez. Energieverbrauch [kWh/kJ pro kg verdampftes Wasser]
Luft-Band-Trocknung	100	1,9/6800
Vakuumkontakttrocknung	150	1,3/4700
Mikrowellenvakuumtrocknung	190	1,5/5400
Gefriertrocknung	230	2,0/7200

Der Energieverbrauch wird bedeutend verringert, wenn unbrauchbares Eingangsmaterial vor der Trocknung entfernt wird (Heindl 1999). Daher ist es sinnvoll den langsamer trocknenden Stängelanteil im Erntegut der Kapuzinerkresse gering zu halten. Kombiniert man Frischlufttrocknung mit Mikrowellentrocknung beschleunigt sich der Trocknungsprozess effektiv und effizient (Khraisheh et al. 1995). Bei dem Beispiel Pfefferminze betrugen die Trocknungskosten 58 % (45 % Energieverbrauch) der gesamten Produktionskosten (Breuer 1987). Bei der Trocknung von Pfefferminze zeigte eine energetische Auswertung deutlich, dass für die Nachtrocknung von Pfefferminzblättern mit Mikrowellenenergie eine thermische Energieeinsparung von 75 % erreicht werden kann. Der spezifische Elektroenergieverbrauch steigt allerdings um über das 6-fache. Eine Gesamtenergieersparnis von 67 % konnte festgestellt werden, berücksichtigt man die Magnetron-Austauschkosten noch 35 % (Heindl und Müller 2002). Es wäre am sinnvollsten die Kapuzinerkresse zu Beginn mit Warmlufttrocknung bei 40 °C im Trockenschrank mit Frischluftzufuhr zu trocknen und die Trocknung mit Mikrowellenenergie anzuschließen. Wobei es auch großtechnische Anlagen gibt, die sich die Mikrowellenenergie zu Nutze machen (Abb. 5-1).

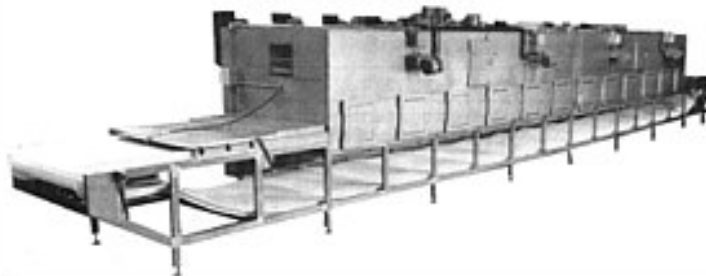


Abb. 5-1: Großtechnischer Mikrowellenbandtrockner (www.microdry.com)

Es gibt je nach Pflanzenart einen optimalen Wassergehaltsbereich, in dem die Umsetzung von Mikrowellenenergie in Wärme am effektivsten abläuft (Funebo 2000). Die Trocknung im Bereich hoher Wassergehalte ist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht sinnvoll. Mikrowellenanlagen liegen in den Investitionskosten hoch und Strom kostet pro Energieeinheit rund 2,5 - 3-mal mehr als Öl oder Gas (Heindl und Müller 2002). Steigende Energiekosten und eine mögliche CO₂-Steuer könnten in Zukunft die Erzeugungskosten für getrocknete Arznei- und Gewürzpflanzen stark anwachsen lassen, so dass es einen überlebenswichtigen Bedarf an Systemen und Methoden zur Energieeinsparung bei der Trocknung gibt (Heindl 1999).

5.4 Ökonomische Aspekte von Anbau, Ernte und Weiterverarbeitung von Kapuzinerkresse

Der Feldanbau war erfolgreich, die Kapuzinerkresse wuchs gleichmäßig und war robust gegen Trockenheit. Die Kapuzinerkresse wächst in Deutschland jedoch nur in den frostfreien Monaten (Mai - November). Die Ernte per Hand oder Sichel ist am verlustärmsten. In einem Hochlohnland wie Deutschland, in dem hohe personelle Ressourcen für die aufwändige Pflege und Ernte der Pflanzen teuer sind, trägt eine technische Weiterentwicklung der Mechanisierung zum Fortbestand des Arznei- und Gewürzpflanzenanbaus bei (Gülzower Fachgespräche 2004). Es gilt zukünftig, schonende Maschinen zur Ernte und Pflege speziell für den Kapuzinerkresseanbau zu entwickeln.

Ein Großteil der Arbeitskraft muss in die Feldpflege investiert werden. Verletzte Blätter verlieren auf den Transportwegen zur Trocknungsanlage ihren Wirkstoffgehalt. Die Kapuzinerkresse zählt nicht zu den herkömmlich angebauten Arzneipflanzen, deren Anbau- und Nacherntetechniken schon pflanzenspezifische Prozessoptimierungen erfahren haben.

Der Arznei- und Gewürzpflanzenanbau gilt als intensiver Arbeitsbereich und benötigt fünfmal mehr Arbeitskräfte als der reine Marktfruchtanbau je Flächeneinheit. Die Erweiterung des Marktfrucht- und Futteranbaues um den Produktionsbereich der Arznei- und Gewürzpflanzen führt zu ausgeglichener Betriebswirtschaft, Glättung des Jahresarbeitsmaßes und des Ertragsrisikos. Quaas (1998) hält den rein ökologischen Arzneipflanzenanbau in einem landwirtschaftlichen Großbetrieb für nicht durchführbar. Das Hauptproblem sind die Personalkosten. Für 613,3 ha Anbaufläche werden ganzjährig 23 Leute in Anbau, Trocknung, Lagerung, sowie Verarbeitung und Transport beschäftigt. Zahlreiche Arbeitskräfte kommen für die Sommermonate hinzu. Außerdem werden ca. 90 % der Arznei- und Gewürzpflanzen importiert und daher muss der heimische Anbau mit Weltmarktpreisen konkurrieren (Galizia und Grünwald 2003). Um auf dem Weltmarkt zu bestehen, müssen hierzulande die Produktionskosten gesenkt werden. Wichtig für die Entscheidung zur Investition sind Faktoren, wie z. B. geeignete Standortbedingungen, eine überschaubare Artenanzahl, Flächengrößen ab 30 ha und Kapitalaufwendungen für Spezialmaschinen (z. B. Trocknungsanlagen) (Quaas 1998).

Was spricht also für den Anbau in Deutschland? Eine vollständige Dokumentation der Pflanzenproduktion und die Einhaltung der „Richtlinien für die Gute Landwirtschaftliche Praxis von Arznei- und Gewürzpflanzen“ (GAP-Regeln) sprechen dafür (Brantner et al. 1997). Hohe Qualitätsstandards bei Anbau, Ernte und Aufbereitung, sowie Fachkenntnisse

und entsprechende Maschinenausstattung machen einen Anbau in Deutschland attraktiv (Hoppe 1996). Die Ansprüche an die Homogenität, Qualität und den ökologischen Anbau des Erntegutes wachsen, eine vollständige Dokumentation und schnelle Überprüfbarkeit des gesamten Produktionsprozesses ist gefordert. Tambunan et al. (2001) prognostizieren der Nachfrage nach traditioneller Kräutermmedizin einen enormen Anstieg. Der Bedarf der Bevölkerung steigt durch neue Erkenntnisse zur Wirksamkeit von Arzneipflanzen, wodurch mehr Rohstoffe benötigt und folglich mehr angebaut werden. Die Hauptaufkäufer aufbereiteter Ware sind Händler, Erzeugergemeinschaften und Arzneimittelhersteller. Die befragten Firmen aus Verarbeitung und Handel zeigten sich zufrieden mit der Qualität ökologischer Heil- und Gewürzpflanzen aus deutschem Anbau. Zunehmende Qualitätsanforderungen (Kontrolle bei Anbau, Ernte, Transport und Lagerung) versprechen einen einheitlichen Wirkstoffgehalt.

Heil- und Gewürzpflanzen werden wieder in größerem Flächenumfang mit steigender Tendenz angebaut (Abb. 5-2). Auch bei Becker (2002) werden steigende Zahlen bei der Anbaufläche ökologisch erzeugter Arznei- und Gewürzpflanzen beschrieben. Franke und Dehe (2003) zeigten die Widersprüchlichkeit der Zahlen der Anbauflächen auf. So wird allgemein von einer Zunahme der Anbaufläche gesprochen, aber die Angaben in Hektar sind, je nachdem welche Pflanzen einbezogen werden, verschieden.

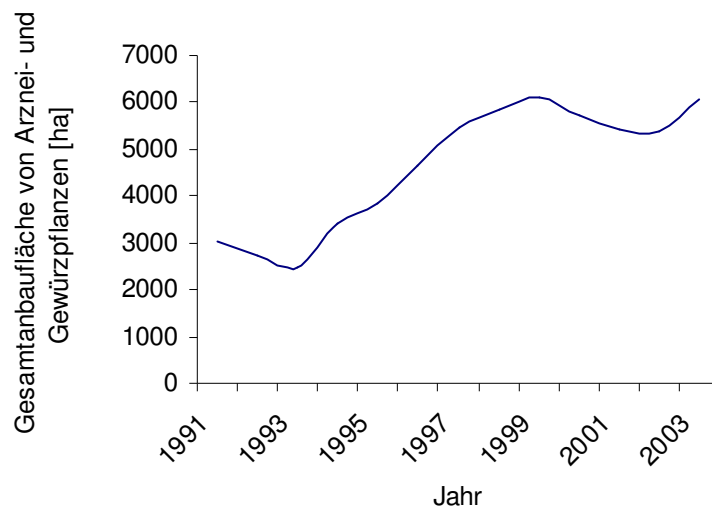


Abb. 5-2: Entwicklung des Flächenumfangs des Heil- und Gewürzpflanzenanbaus in Deutschland (nach Galizia und Grünwald 2003, Röhrich und Köhler 2005)

Der Anbauumfang der Arznei- und Gewürzpflanzen ist in Deutschland inoffiziell größer, es gibt mehr Anbauflächen, als genannt werden (Bomme 1998) und fast die Hälfte der Betriebe betreibt ökologischen Arzneipflanzenanbau auf Flächen unter einem ha (Lück 1995). Am Beispiel der Agrargenossenschaft Nöbdenitz e. G. zeigt die Entwicklung der Anbauflächen

von Arznei- und Gewürzpflanzen, die seit 1990 um mehr als das Dreifache erweitert wurde, dass der Produktionsbereich sich entwickelt (Abb. 5-3) (Quaas 1998).

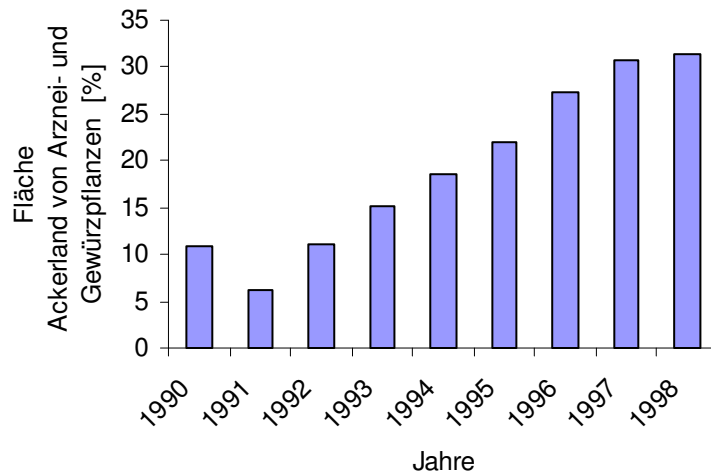


Abb. 5-3: Entwicklung des Anteils von Arznei- und Gewürzpflanzen [ohne Körnerdrogen] an der gesamten Ackerfläche der Agrar Genossenschaft Nöbdenitz (Quaas 1998).

Motive für die zunehmende inländische Anpflanzung gibt es viele. Immer weniger Einkommensmöglichkeiten für deutsche Landwirtschaftsbetriebe machen den Anbau von Arzneipflanzen auf Ausgleichsflächen zu einer zukunftsorientierten Einkommensalternative, das lockert die Fruchtfolge auf. Schon Bloem et al. (2001b) wiesen darauf hin, dass der Anbau von Pflanzen, die nicht unmittelbar der Nahrungsmittelproduktion dienen, durch Nutzung von stillgelegten Flächen an Bedeutung gewinnen. Im Vergleich zu Getreide, Kartoffeln oder Futterpflanzen hat der Heil- und Gewürzpflanzenanbau eine wesentlich höhere Wertschöpfung (Bomme 1998). Für arbeitsintensive Kulturen wie z. B. Arnika, Königskerze, Kornblume, Ringelblume oder Tausendgüldenkraut besteht eine reelle Marktchance, wenn sie von kleinen bäuerlichen Betrieben mit freien Arbeitskapazitäten (Franke und Dehe 2003) angebaut werden. So wird eine Qualität erzielt, der der aufwändige Import in Nutzen und Ausbeute unterliegt.

Überschüsse zwingen zum Umdenken, folglich stellt der Anbau von Heilpflanzen eine Einkommensalternative dar und beschäftigungswirksame Effekte werden in beträchtlichem Umfang wirksam. Arznei- und Gewürzpflanzen werden vorwiegend kontrolliert und integriert angebaut, der Anbau ist vollständig mit landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturen kombinierbar.

Weitere Aspekte sind die Nachfrage der Verbraucher nach regionalen Produkten und der Naturschutz. Die Qualität ökologisch angebaute Arzneipflanzen wird neben den enthaltenen Inhaltsstoffen von Gesundheitswert, Beschaffenheit des Rohprodukts und der

Umweltfreundlichkeit des Anbaus bestimmt (Franke und Dehe 2003). Die Qualitätsmerkmale beschränken sich dabei nicht nur auf die Anforderungen der gültigen Pharmakopöen und der Lebensmittelgesetzgebung (Sauer 1988, Kade 1995). Lange Transportwege werden vermieden, ein hoher Hygienestatus erreicht und ggf. Wildbestände geschont. Strenge Bestimmungen aus Pflanzenschutz, Arznei- und Lebensmittelgesetzen gewährleisten Ökologie beim Anbau. Im Jahr 2002/2003 wurden 12 % der Anbaufläche von Heil- und Gewürzpflanzen in Deutschland auf ökologische Weise bewirtschaftet (Röhrich und Köhler 2005). Durch innovative Nutzung von Arznei- und Gewürzpflanzen als nachwachsende Rohstoffe kann sich der Anbau in Deutschland weiterentwickeln. Hier sind in Zukunft vor allem Lösungen gefragt, die auf eine ökologische Erneuerung der Industrie hinweisen.

Ohne Pflanzenschutz nehmen jedoch die Probleme wie Unkraut, pilzliche und bakterielle Schaderreger, Virose und andere Schädlinge mit zunehmendem Umfang der Flächengröße zu. Der Arbeitsaufwand insbesondere bei der Unkrautregulierung ist ein kostenaufwendiger Arbeitsschritt, der einen Mehraufwand von über 250 Akh/ha betragen kann (Franke und Dehe 2003).

Gegen den heimischen Anbau spricht der übliche Auslandsimport, vor allem bei einem Bedarf großer Mengen. Die dort günstigen klimatischen Bedingungen lassen eine ganzjährige Ernte zu, häufig bestehen bereits Geschäftsbeziehungen mit dem Ausland und man fürchtet den aufwändigen, inländischen Anbau. Um den Inlandsbedarf mancher Arzneipflanzen decken zu können, ist ein Import wichtig. Auch ökologisch angebaute Produkte werden aus dem Ausland (im zunehmenden Maße auch aus Osteuropa) geliefert (Lampkin 1998). Das niedrige Weltmarktniveau und keine gestützten Preise sind Aspekte für die Einführung dieser Rohstoffe. Die hohen Kosten, die durch die Kultivierung in Deutschland entstünden, werden vermieden. Die unzureichenden Pflanzenschutzmöglichkeiten bei vielen Heil- und Gewürzpflanzenarten wurde mehrmalig in Fachkreisen diskutiert (Gülzower Fachgespräche 2004). In der Ernte besteht besonders bei Kraut- und Blütendrogen Handlungsbedarf, gerade in Deutschland ist der Schritt der Ernte mit hohen Kosten verbunden, da dieser Arbeitsbereich arbeitsintensiv ist und unter großem Zeitdruck steht und die einmal geerntete Ware sofort weiterverarbeitet werden muss (Gülzower Fachgespräche 2004).

Trotzdem wird Ware aus Deutschland gerne genommen. Einheitliche Inhaltsstoffe einer Charge und geringe Sandgehalte sprechen dafür. Für den Export spielen einheimische Arznei- und Gewürzpflanzen jedoch weniger eine Rolle. Nach Hannig (1993) beginnt die Qualitätskontrolle schon in der Planung und Durchführung der Produktion. Höhere Preise im Vergleich zu ausländischen Wettbewerbsprodukten sind am Markt nicht durchsetzbar.

Folglich steigt bei heimischem Anbau der Kontrollaufwand der Abnehmer dieser Rohstoffe außerordentlich. Pro Charge liegen die Kosten je nach Herkunft und Pflanzenart zwischen 600 und 2500 Euro (Bomme 1998). Die Landwirte werden zumeist nach Ertrag bezahlt. Damit durch die aufwändigere Arzneipflanzenernte kein finanzieller Nachteil entsteht, ist die qualitativ hochwertigere Ware vom Abnehmer entsprechend zu belohnen. Das bietet Ansporn die Entwicklung hochwertiger Ware beispielsweise durch energieeffiziente Trockner kostengünstig zu gestalten. Die Verbesserung der Qualität bei gleichzeitiger Senkung der Produktionskosten ist derzeit eine gute Möglichkeit mit Importen konkurrieren zu können. Der deutsche Arznei- und Gewürzpflanzenanbau hat Perspektive. Es besteht Nachfrage aufgrund hoher Qualität und Stabilisierung der Produktion durch Forschung, Entwicklung und Beratung. Auch die schnelle Umsetzung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse ist ein entscheidender Wettbewerbsfaktor.

5.5 Ausblick

Um hochwertige Phytopharmaka zu produzieren, ist die Qualität der Rohdroge von entscheidender Bedeutung. Die Homogenität des Drogenmaterials bezogen auf pharmakologische und agronomische Gesichtspunkte ist dabei unentbehrlich. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit tragen in gewissem Maße zu einer effizienteren und qualitativ hochwertigeren Nutzung der getrockneten Kapuzinerkresseblätter bei.

Es wird das Ziel weiterer Untersuchungen sein, die GTL-Synthese zu maximieren und die Anbau- und Erntetechnik sowie die Trocknung soweit zu optimieren, dass GTL-Verluste bei der Konservierung minimiert werden, um die bestmögliche Produktqualität zu realisieren. Der Anbau erschwert sich mit zunehmendem Qualitätsanspruch. Für Obst und Gemüse wurde hinsichtlich eines erhöhten Umwelt- und Gesundheitsbewusstseins ein Qualitätsindex entwickelt, dabei werden qualitätsbeeinflussende Vor- und Nacherntefaktoren (Sorte, Witterung, Kulturführung, produktphysiologische Reaktionen, ökophysiologische Parameter) äußerer und innerer Funktionen der Pflanze zu einer Größe zusammengefasst (Huyskens-Keil und Schreiner 2003). Dieses Sortenscreening trägt dazu bei, für ernährungsphysiologische Aspekte geeignete Zuchtstämme auszuwählen und dem Landwirt und Konsumenten geschmacklich wertvolles und gesundes Gemüse anbieten zu können (Siegl et al. 1994).

Falsche Nacherntebehandlungen können starke Wirkstoffverluste verursachen. Die technischen Vorgänge der Ernte, des Transports und der Trocknung müssen den ablaufenden physiologischen Prozessen angepasst werden. Diese Prozesse weitergehend zu untersuchen

bietet sich an. Da eine lange Trocknungszeit einen höheren Energieverbrauch verursacht, ist zusätzlich der Einsatz von Solarenergie zur Luftvorwärmung vor der Trocknung im Trockenschrank bei 40 °C von Mai bis September energieeinsparend (Heindl 2000). Wärmerückgewinnung durch Wärmetauscher und Solarkollektoren ist möglich (Edelmann et al. 1986). Es bestehen auch erste Erfahrungen mit dem Einsatz von Blockheizkraftwerken auf Pflanzenölbasis bei der Arzneipflanzentrocknung (Schröder 1995).

Es bestehen große witterungsbedingte Unterschiede im GTL-Gehalt der Kapuzinerkresse und die klimatischen Einflüsse sind groß, weitere Untersuchungen können hier hilfreich sein, die Nutzung der Pflanze erfolgreicher werden zu lassen.

Untersuchungen zur Herstellung von Tabletten aus reinem Pflanzenmaterial der Kapuzinerkresse sind gemacht, das gemahlene Material der Samen und Blätter von Kapuzinerkresse wurde auf seine Pulvercharakteristik untersucht. Hier besteht Forschungsbedarf, es gilt möglichst viel des reinen Blattmaterials (ohne Zusatzstoffe) in eine Tablette zu pressen, um die tägliche Tablettenanzahl zu reduzieren. Denkbar ist, die konzentrierten Extrakte aus der Extraktion am Rotationsverdampfer, so fern sie rückstandsfrei sind, dazu zu dotieren, um einen konstanten GTL-Gehalt im Präparat zu gewährleisten. Großtechnisch wäre die Aufbereitung kein Problem, andere Arzneipflanzen erfahren auf gleiche Weise ihre Aufbereitung, wichtig ist dabei die rückstandslose Herstellung. Umweltfaktoren, die im Rahmen der Arbeit keine Berücksichtigung fanden, sowie Bodeneigenschaften und Nährstoffe bieten einen weiteren Untersuchungsbereich.

6 Zusammenfassung

Die Erzeugung hochwertiger Qualitätsprodukte aus Arzneipflanzen beinhaltet gegenüber dem wertgebenden Inhaltsstoff schonende Verfahren in den Prozessen des Anbaus, der Ernte und der Weiterverarbeitung und darüber hinaus eine lückenlose Dokumentation der Produktion.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Bedingungen, die zur erfolgreichen landwirtschaftlichen Nutzung der Arzneipflanze Kapuzinerkresse (*T. majus*) zu berücksichtigen sind, aufzuzeigen. Die niedrigen GTL-Gehalte in der getrockneten Kapuzinerkresse schränken bisher die Anwendung der Medizinalpflanze Kapuzinerkresse (*T. majus*) in größerem Maßstab ein. Problematisch bei der Ernte und Nacherntebehandlung von Kapuzinerkresse ist der rasche Abbau von GTL, verursacht durch Verletzung der Pflanze unter Beteiligung des Enzyms Myrosinase.

In dieser Arbeit konnten Einflüsse des Anbaus auf den GTL-Gehalt wie beispielsweise Schwefelversorgung und Bestandesdichte der Kapuzinerkresse nachgewiesen werden. Darüber hinaus wurde getestet, wie verschiedene Methoden der Trocknung den GTL-Gehalt der Blätter beeinflussen. Durch Veränderungen der Bedingungen in Anbau und Weiterverarbeitung werden möglicherweise biochemische Prozesse des sekundären Metabolismus aktiviert, wodurch der GTL-Gehalt in der Pflanze erhöht werden kann.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 1) Im Vergleich zur Saatmischung von Kapuzinerkresse wurden genetisch identische Kapuzinerkressepflanzen eingesetzt, um die Einflüsse auf den GTL-Gehalt genauer bestimmen zu können. Die GTL-Gehalte der Pflanzenklone FL37, BG8 und BG26 unterschieden sich unter Feldbedingungen nicht von denen der Kapuzinerkressesaatmischung. Die Genotypen zeigten einen einheitlichen Wuchs und trugen damit zur Ergebnisgenauigkeit bezüglich des Biomasseertrages und der Einflüsse auf den GTL-Gehalt bei.

- 2) GTL kommt in allen Pflanzenteilen der Kapuzinerkresse vor. Der durchschnittliche GTL-Gehalt der Pflanzenorgane nahm in nachstehender Reihenfolge ab: Samen ($70 \mu\text{mol/g TM}$) \geq Knospen ($65 \mu\text{mol/g TM}$) $>$ Blüten ($35 \mu\text{mol/g TM}$) $>$ Blätter ($23 \mu\text{mol/g TM}$) $>$ Stängel ($13 \mu\text{mol/g TM}$). Trotz der im Verhältnis zu den Samen niedrigen GTL-Gehalte in den Blättern, sind diese Pflanzenorgane durch ihren Biomasseertrag zur Weiterverarbeitung am besten geeignet.
- Die Blattgröße bzw. das Blattalter ist für den GTL-Gehalt bedeutsam. Die GTL-Gehalte in kleinen bzw. jungen Blättern der Kapuzinerkresse waren um $9,3 \mu\text{mol/g TM}$ signifikant höher als in großen bzw. ausgewachsenen.
- Das Verhältnis von Blatt/Stängel wurde zum Ende der Vegetationsperiode kleiner. Die Ernte von Blättern sollte daher möglichst zu einem Entwicklungsstadium mit noch hohem Blattanteil erfolgen.
- 3) a) Obwohl die individuelle Biomasse von Einzelpflanzen der im Abstand von $30 \times 30 \text{ cm}$ angebauten Saatmischung im Versuchsjahr 2005 geringer war als bei der im Abstand $60 \times 60 \text{ cm}$ gesäten Pflanzen, war der Gesamtertrag der Biomasse und des GTL-Gehaltes pro Hektar höher, als die Erträge der Parzellen mit Abständen von $60 \times 60 \text{ cm}$.
- b) Die Pflanzung genetisch identischer Pflanzenklone, mit geringeren Abweichungen in GTL-Gehalt und Biomasseproduktion, erbrachten eindeutigere Ergebnisse zu den unterschiedlichen Pflanzabständen: Es war der Blattertrag je Hektar bei einem Abstand von 30 cm um $16 - 53 \%$ höher als bei Abständen von 60 cm . Vergleicht man die GTL-Gehalte der Blätter, waren diese auch bei 30 cm Abstand gepflanzter Kapuzinerkresse höher.
- 4) a) Lagerung und Transport von geernteten Kapuzinerkresseblättern über mehrere Stunden sind möglich, sofern keine Verletzungen am Blattgewebe bestehen.
- b) Es wurden verschiedene Trocknungstechniken untersucht. Es konnte mit 40°C die optimale Trocknungstemperatur für Kapuzinerkresseblätter bezüglich des Erhalts des Wirkstoffes GTL ermittelt werden. Hinsichtlich einer effizienten Trocknung größerer Probenmengen und konstant hoher GTL-Gehalte erwiesen sich die Trocknungen in der Mikrowelle und im Trockenschrank bei 40°C unter Frischluftzufuhr als am effektivsten.

- c) Die entstehenden metabolischen Veränderungen im Pflanzenmaterial während der Trocknung wurden durch den Stressindikator GABA verdeutlicht. Die Trocknung bei 40 °C im Trockenschrank ist mit einem langsamen Welken der Blätter vergleichbar, und die so getrocknete Kapuzinerkresse zeugte von besonders viel GABA-Akkumulation.
- 5) Der GTL-Gehalt getrockneten Kapuzinerkresseblättern ließ sich durch die Extraktion mit Ethanol oder Methanol am Rotationsverdampfer in den Blattproben um das 3-fache steigern. Die Extraktion der Samenproben erbrachte zwar einen Anstieg um fast die 7-fache Menge der ursprünglichen Durchschnittsgehalte, aber wie schon erwähnt (siehe 2), ist die Erntemenge für eine großtechnische Nutzung der Kapuzinerkresse nicht ausreichend.

Abschließend ergibt sich folgende Empfehlung:

Eine dichte Aussaat einer Kapuzinerkressesaatmischung ist weniger kostenintensiv, da weniger Arbeit für Feldpflege aufgewendet werden muss. Eine gute Versorgung mit dem Nährelement Schwefel trägt zu einem Anstieg des GTL-Gehaltes bei. Darüber hinaus ist der Ernteertrag höher, vorausgesetzt, es wurde schonend getrocknet, entweder bei 40 °C im Trockenschrank oder in der Mikrowelle. Die Trocknung in der Mikrowelle ist besonders sparsam, da die benötigte Energie nur auf das zu trocknenden Gut wirkt und es sich um den schnellsten Trocknungsprozess handelt.

7 Summary

The production of high quality drugs from medicinal plants includes a gentle treatment during cultivation, harvest and subsequent processing in order to conserve the active pharmaceutical ingredient and, moreover, a complete documentation of the production.

The main objective of the present research work was to acquire the conditions, which are necessary for a successful agricultural use of the medicinal plant nasturtium (*T. majus*). Low amounts of GTL in dried nasturtium have limited its use on a large scale, so far. The rapid degradation of GTL caused by damage of the plant during harvest and postharvest-treatments involving the enzyme myrosinase is a problem.

In this thesis the influence of cultivation processes such as sulfur supply as well as seed- and plant density on the GTL-content of nasturtium was proven. Furthermore, it has been tested how different drying methods influence the GTL-content in the leaves. Varying conditions concerning cultivation and subsequent processing possibly activate biochemical processes of the secondary metabolism whereby the GTL-content in the plant may be increased.

The essential results of this work can be summarized as follows:

- 1) In comparison to a nasturtium seed blend genetically identical nasturtium plants were used to ascertain the influence on the GTL-content more precisely. Under field conditions no difference between the GTL-contents of the clones FL37, BG8 and BG26 and the seed blend was measured. Genotypes are of consistent growth and hence contributed to more accurate results concerning biomass production and influences on the GTL-content.
- 2) GTL occurs in all plant parts of nasturtium. The averages of the GTL-contents of the plant parts decreased in the following order: seeds (70 $\mu\text{mol/g TM}$) \geq buds (65 $\mu\text{mol/g TM}$) > flowers (35 $\mu\text{mol/g TM}$) > leaves (23 $\mu\text{mol/g TM}$) > stems (13 $\mu\text{mol/g TM}$). In spite of the leaves' low GTL-contents, these plant parts are most suitable for further processing due to their large biomass. Size and age of the leaves are important for the GTL-content. The GTL-content in small leaves of nasturtium significantly exceeds the content in large or mature leaves by 9.3 $\mu\text{mol/g TM}$. The leaf/stem ratio decreases to the end of the growth period. The harvest of the leaves should taken place in a development state with a high amount of leaves.

- 3) a) Although in 2005 the individual biomass yield of single plants seeded in a distance of 30 x 30 cm was lower than plants in a distance of 60 x 60 cm the total yield and GTL-content per hectare were higher.
b) The planting of genetically identical plant clones with less variation of GTL-content and biomass yield showed clearer results regarding the different plant densities: when planted in a distance of 30 cm the leaf-production per hectare showed an increase of 16 - 53 % in comparison with a distance of 60 cm. When comparing the GTL-contents of the leaves, nasturtium planted in 30 cm distance also showed higher amounts.
- 4) a) Storage and transport of harvested nasturtium leaves is possible for several hours, if no injury occurs.
b) Different drying techniques were proven. A drying temperature of 40 °C has been determined to be optimal to obtain the GTL-content in nasturtium leaves. Considering an efficient drying of large amounts as well as a constantly high GTL-content, drying in a microwave or a drying oven at 40 °C under the supply of fresh air has been shown to be most appropriate.
c) The occurrence of metabolic alterations in the plant material during the drying process is shown by the stress indicator GABA. Drying at 40 °C in a drying oven is comparable to wilting of the leaves and nasturtium dried in this way shows a particularly high accumulation of GABA.
- 5) The GTL-content of leaves can be tripled via an extraction using ethanol or methanol with a rotary evaporator. Although the extraction of the seeds resulted in a sevenfold increase of the original average content, their yield is inadequate for a commercial use of nasturtium (see 2).

In conclusion, following recommendations can be formulated:

Dense sowings of nasturtium seed blend are less cost-intensive, because less work for field care has to be spent. A proper supply with the nutrient sulfur contributes to an increase of the GTL-content. Moreover, the harvest yield is higher if the drying is done gently in a drying oven at 40 °C or in a microwave. Drying in a microwave is economical in particular because the used energy only affects the material and is the fastest drying process.

8 Literatur

- Adu B, Otten L** (1996) Microwave heating and mass transfer characteristics of white beans. J. agric. Engng Res. 64, 71 - 78
- Aires A, Rosa E, Carvalho R** (2006) Effect of nitrogen and sulfur fertilization on glucosinolates in the leaves and roots of broccoli sprouts (*Brassica oleracea* var. *italica*). J Sci Food Agric 86 (10) 1512 - 1516
- Albuquerque U P de, Silva F C, Pierrot L** (1998) Exame diagnóstico da folha de *Ocimum gratissimum* L. (Lamiaceae). Revista Brasileira de Farmácia, Rio de Janeiro 79 (1/2), 23 - 25
- Andersen A S, Muir R M** (1966) Auxin activity of glucobrassicin. Phytol. Plant. 19, 1038 - 1048
- Babic I, Amoit M, Nguyen-The C, Aubert S** (1993) Changes in phenolic content in fresh ready-to-use shredded carrots during storage. J. Food Sci. 58, 351 - 356
- BAH** (2002) Der Arzneimittelmarkt in Deutschland in Zahlen 2001 – unter besonderer Berücksichtigung der Selbstmedikation. Bonn: Bundesverband der Arzneimittelhersteller e. V.
- Bailey A V, Lucca I I A, Moreu J P** (1993) Antimicrobial properties of some erucic acid-glycolic acid derivatives. Journal of the American Oil Chemist's Society, Champaign 66, 77 - 85
- Baker K F, Davis L H** (1950) Heterosporium disease of Nasturtium and its control. Phytopathology 40, 553 - 566
- Baritoux O, Richard H, Touche J, Derbesy M** (1992) Effects of drying and storage of herbs and spices on the essential oil. Part I. Basil, *ocimum basilicum* L. 7(5) 267 - 271
- Barthlott W, Cerman Z, Stosch A K** (2004) Der Lotus-Effekt: Selbstreinigende Oberflächen und ihre Übertragung in die Technik. Biologie in unserer Zeit 34 (5) 290 - 296
- Bauermann U** (1996) Anforderungen an die Qualität von Gewürzpflanzen. Z. Arzn. Gewpfl., Sonderheft 63 - 65
- Beck S D, Reese J C** (1976) Insect-plant interactions: nutrition and metabolism. Recent Adv. Phytochem. 10, 41- 92
- Beck E, Lüttge U** (1990) Stress der Pflanzen, Biologie in unserer Zeit, 20, 237 - 244
- Becker P** (2002) Status Quo und Potential des deutschen Arznei- und Gewürzpflanzenanbaus - Ergebnisse einer Querschnittsanalyse von verschiedenen Studien. Workshop „Arzneipflanzen als nachwachsende Rohstoffe“, FAH und FNR, Bonn, 06./07.03.2002
- Belitz H D, Grosch W** (1982) Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Springer Berlin, Heidelberg, New York ISBN: 3540410961
- Benn M H** (1962) Biosynthesis of mustard oils. Chem. Industr. (London), 1907
- Benn M** (1977) Glucosinolates. Pure and Appl. Chem. 49, 197 - 210
- Bergmann F** (1970) Die Glucosinolat-Biosynthese im Verlauf der Ontogenese von *Sinapis alba* L.. Z. Pflanzenphysiol. Bd. 62, 362 - 375
- Bianchini F, Corbetta F, Pistoia M, Thiede U** (1983) Der große BLV-Heilpflanzenatlas. BLV München, Wien, Zürich. ISBN: 3405128706
- Bille N, Eggum B O, Jacobsen I, Olsen O, Sørensen H** (1983) Antinutritional and toxic effects in rats of individual glucosinolates (+-myrosinases) added to a standard diet. 1. Effects on protein utilization and organ weights. Z. Tierphys. Tierernähr. Futtermittelkde. 49, 195 - 210

- Bilsborrow P E, Evans E J, Murray F, Zhao F J** (1993) Glucosinolate changes in developing pods of single and double low varieties of autumn-sown oilseed rape (*Brassica napus*). Ann. Appl. Biol. 122, 135 - 143
- Birch A N E, Griffiths D W, Hopkins R J, Smith W H M, McKinlay R G** (1992) Glucosinolate responses of swede, kale, forage and oilseed rape to root damage by turnip root fly (*Delia floralis*) larvae. J. Sci. Food Agric. 60, 1 - 9
- Bjelke E** (1973) Epidermiologie studies of cancer of the stomach, colon and rectum with special emphasis of the role of the diet. Thesis Minnesota Am. Arbor
- Björkman R** (1976) Properties and function of plant myrosinases. – In The biology and chemistry of cruciferae (Vaughan, J.G., A.J. MacLeod and B.M.G. Jones, eds.) pp. 191 - 205, Academic Press, London, ISBN 0-12-715150-8
- Bloem E, Peplow E, Haneklaus S, Sator C, Köhler T, Hocking T J, Bilsborrow P, Schnug E** (2001a) The effect of sulphur fertilization on the Glucotropaeolin content in *Tropaeolum majus* (L.). XXXVI. DGQ-Vortragstagung Gewürz- und Heilpflanzen, 19.-20.3.2001 in Jena, 185 - 190
- Bloem E, Haneklaus S, Köhler T, Sator C, Schnug E** (2001b) Produktionstechnische Maßnahmen zur Erhöhung des Glucotropaeolingehaltes von Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus* L.). In: Narossa: 7th International Conference for renewable resorces, 11th - 12th June 2001, Magdeburg, Germany, Proceedings, Magdeburg, ÖHMI, 10 S
- Bloem E, Haneklaus S, Ahmed S S, Schnug E** (2002) Beitrag der Schwefelversorgung zur Qualitätssicherung bei Anbau von Arzneipflanzen in unterschiedlichen Klimaten. Fachtagung für Heil- und Gewürzpflanzen 12. - 15.11.2001 in Bad Neuenahr-Ahrweiler, Hrsg. Friedrich Pank, Tagungsband / Jahrgang Sonderausgabe 2002, 149 - 155
- Bloem E M, Haneklaus S, Schnug E** (2003a) Erzeugung hochwertiger Rohstoffe für die Phytopharmakaherstellung in Ägypten. Landbauforschung Völkenrode SH 258, 27
- Bloem E, Haneklaus S, Schnug E** (2003b) Schwefel – für gesunde Pflanzen und gesunde Menschen, Schwefel – auch von pharmazeutischer Bedeutung Forschungsreport 1, 24 - 26
- Bloem E M, Haneklaus S, Schnug E** (2005) Relation between total sulphur analysed by ICP-AES and glucosinolates in oilseed rape and Indian mustard seeds. Landbauforschung Völkenrode 55 (4) 205 - 210
- Bloem E, Haneklaus S, Schnug E** (2007) Comparative effects of sulphur and nitrogen fertilisation and post-harvest processing parameters on the glucotropaeolin content of *Tropaeolum majus* L. J. Sci Food Agr. 87, 1576 - 1585
- Bocker H, Thrum H** (1987) Antibiotika, woher? Wofür? Aulis, Köln 1987
- Böckelmann M, Lücke W** (2005) Mikrowellen zur Maistrocknung. Landtechnik 5, 260 - 261
- Böhm V, Kühnert S, Rohm H, Scholze G** (2006) Improving the nutritional quality of microwave-vacuum dried strawberries: a preliminary study. Food Sci Tech Int 12 (1), 67 - 75
- Bomme U** (1998) Situation und Zukunftsperspektiven des Feldanbaues von Heil- und Gewürzpflanzen in Deutschland. Z. Arzn. Gewpfl. 3, 155 - 161
- Bonafonte AB, Iglesias O, Bueno JL** (2002) Combined convective-microwave drying of agar gels: Influence of microwave power on drying kinetics. Drying Technology 20, 93 - 108
- Bones A M, Rossiter J T** (1996) The myrosinase-glucosinolate system, its organisation and biochemistry. Physiologia Plantarum 97, 194 - 208
- Bouché N, Fait A, nZik M, Fromm H** (2004) The root-specific glutamate decarboxylase (GAD1) is essential for sustaining GABA levels in Arabidopsis. Plant Molecular Biology 55, 315 - 325

- Bouraoui M, Richard P, Durance T** (1994) Microwave and convective drying of potato slices. *Journal of food process engineering* 17, 353 - 363
- Bown A W, Shelp B J** (1997) The metabolism and functions of γ -aminobutyric acid. *Plant Physiol.* 115, 1 - 5
- Brader G, Tas E, Palva E T** (2001). Jasmonate-dependent induction of indole glucosinolates in *Arabidopsis* by culture filtrates of the non-specific pathogen *Erwinia carotovora*. *Plant Physiol.* 126, 849 - 860
- Bradford K J, Hsiao T C** (1982) Physiological response to moderate water stress, in *Encyclopedia of Plant Physiology*, New Ser. 12B, ed. by Pirson A, Zimmermann M H, Springer Verlag, Berlin 263 - 324
- Braja D M, Richard A W, Robert W T, Michael J Z, Keith P S** (1989) New dimensions in flavor research. In *Flavor Chemistry: Trends and Developments*, Teranishi R, Buttery R G, Shahidi F, Des.; ACS Symposium Series 388, American Chemical Society, Washington DC, 176 - 187
- Brantner A, Frank B, Schneider E, Franz C, Máthé A** (1997) Richtlinien für die Gute Landwirtschaftliche Praxis von Arznei- und Gewürzpflanzen (GAP-Regeln). *Z. Arzn. Gewpfl.* 2, 204 - 206
- Breuer G** (1987) Möglichkeiten der großflächigen Produktion von Heil- und Gewürzpflanzen in Marchfeld. Diplomarbeit. Universität Wien, Institut für Bodenkultur
- Brodshelm W** (1995) Untersuchungen zur Jasmonsäure und strukturverwandter Verbindungen als wichtige Signalstoffe im Elicitinggeschehen, Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München
- Brown P D, Morra M J** (1997) Control of soil-borne plant pests using glucosinolate-containing plants. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*. Academic Press, San Diego, 167 - 231
- Brown P D, Tokuhisa J G, Reichelt M, Gershenzon J** (2003) Variation of glucosinolate accumulation among different organs and developmental stages of *Arabidopsis thaliana*. *Phytochem* 62 (3) 471 - 481
- Brunold C, Rügsegger A, Brändle R (Hrsg.)** (1996) Stress bei Pflanzen, UTB, Haupt, Bern.
- Buchwaldt L, Kvist Nielsen J, Sørensen H** (1985) Preliminary investigations of the effect of sinigrin on *in vitro* growth of three fungal pathogens of oilseed rape. In: *Advances in the production and utilization of cruciferous crops*; Sørensen, H. ed. pp. 260 - 267, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk, Dordrecht
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie** (1995) Was bringt uns Biotechnologie? Bonn, Sept.
- Burmeister W P, Cottaz S, Driguez H, Iori R, Palmieri S, Henrissat B** (1997) The crystal structures of *Sinapis alba* myrosinase and a covalent glycosyl-enzyme intermediate provide insights into the substrate recognition and active-site machinery of an S-glycosidase. *Structure* 5, 663 - 675
- Burmeister W P, Cottaz S, Rollin P, Vasella A, Henrissat B** (2000) High resolution X-ray crystallography shows that ascorbate is a cofactor for myrosinase and substitutes for the function of the catalytic base. *J. Biol. Chem.* 275, 39385 - 39393
- Bytof G** (2003) Einfluss der Nacherntebehandlung auf die Qualitätsausprägung bei Arabica-Kaffee (*Coffea arabica* L.). Technische Universität Braunschweig
- Bytof G, Knopp SE, Schieberle P, Teutsch I, Selmar D** (2005) Influence of processing on the generation of γ -aminobutyric acid in green coffee beans. *European Food Research and Technology* 220, 245 - 250
- Campbell A G** (1959) A germination inhibitor and root growth retarder in Chou Moellier (*Brassica oleracea* var.). *Nature* 183, 1263 - 1264
- Cartheuser J F** (1755) 2000-0543 Fundamenta materiae medicae tam generalis quam specialis / Johann Friedrich Cartheuser. - 1. Ed. - Venedig: Deregni. - XII, 396 S
- Castellani D C** (1997) Crescimento, anatomia e produção de ácido erúico em *Tropaeolum majus* L. 108 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa

- Cesare L F di, Forni E, Viscardi D, Nani R C** (2003) Changes in the chemical composition of basil caused by different drying procedures. *J Agric Food Chem* 51 (12), 3575 - 3581
- Charron C S, Saxton A M, Sams C E** (2005) Relationship of climate and genotype to seasonal variation in the glucosinolate-myrosinase system. I. Glucosinolate content in ten cultivars of *Brassica oleracea* grown in fall and spring seasons. *J Sci. Food Agric.* 85, 671 – 681
- Chen S, Petersen B L, Olsen CE, Schulz A, Halkier B A** (2001) Long Distance Phloem Transport of Glucosinolates in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 127, 194 - 201
- Chew F S** (1988a) Searching for defensive chemistry in the cruciferae, or, do glucosinolates always control interactions of cruciferae with their potential herbivores and symbionts? No! (Spencer, K. A. ed.), Chemical mediation of coevolution. Academic Press, San Deigo 81 - 112
- Chew F S** (1988b) Biological effects of glucosinolates. In: Cutler, H.G. (Ed.), *Biologically Active Natural Products for Potential Use in Agriculture*. American Chemical Society, Washington, D.C. 155 - 181
- Cisneros-Zevallos L** (2003) The Use of Controlled Postharvest Abiotic Stresses as a Tool for Enhancing the Nutraceutical Content and Adding-Value of Fresh Fruits and Vegetables. *J Food Sci* 68 (5), 1560 - 1565
- Clossais-Besnard N, Larher F** (1991) Physiological role of glucosinolates in *Brassica napus*. Concentration and distribution pattern of glucosinolates among plant organs during a complete life cycle. *J. Sci. Food Agric*, 56, 25 - 38
- Coic Y, Lesaint C** (1960) Les acides organiques de la féverole (*Vicia faba* L. Minor): Comparaison entre feuilles, racines, nodosités; influence de la déficience en potassium. *Analys Physiol vég*, Paris 2, 73 - 83
- Conaway C C, Jiao D, Chung F L** (1996) Inhibition of rat liver cytochrome P450 isozymes by isothiocyanates and their conjugates : A structure-activity relationship study. *Carcinogenesis* 17, 2423 – 2427
- Costa A F** (1982) *Farmacognosia*. 2. ed. Lisboa: Fundacao Calouste Gulbenkian. v. 3, 1032 p.
- Coumans W J, Kerkhof P J A M, Bruin S** (1994) Theoretical and practical aspects of aroma retention in spray drying and freeze drying, *Drying Technology*, Vol. 12, Nrs. 1-2, 99 - 149
- Crasselt E** (1950) Über die physiologische Wirkung von Extrakten aus *Sinapis alba* L.. *Archiv der Pharmazie* 283 (4), 275 - 280
- Christman S** (2005) www.floridata.com/ref/T/trop_maj.cfm
- Cui Z W, Xu S Y, Sun D W** (2004). Microwavevacuum drying kinetics of carrot slices. *J Food Engineering* 65, 157 - 164
- Dancer S J** (2007) Attention prescribers: be careful with antibiotics. *LANCET* 369 (9560), 442 - 443
- Dehe M** (1999) Marktchancen ökologisch erzeugter Arznei- und Gewürzpflanzen in Deutschland. *Z. Arzn. Gew. Pfl.* 4, 44 - 50
- DIN EN ISO 11885** (E 22) (1998) Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie
- Dixon R A, Paiva N L** (1995) Stress induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell* 7, 1085 - 1097
- Dornberger K, Bockel V, Heyer J, Schonfeld C, Tonew M, Tonew E** (1975) Untersuchungen über die Isothiocyanate Erysolin und Sulforaphan aus *Cardaria draba* L.. *Pharmazie* 30 (12), 792 - 796
- Doughty K J, Kiddle G A, Pye B J, Wallsgrove R M, Pickett J A** (1995) Selective induction of glucosinolates in oilseed rape leaves by methyl jasmonate. *Phytochem.* 38, 347 - 350

- Drobnica L, Zemanová M, Nemec P, Antoř K, Kristián P, Martvoň A, Závodská E** (1968) Antifungal activity of isothiocyanates and related compounds. III. Derivatives of biphenyl, stilbene, azobenzene, and several polycondensed aromatic hydrocarbons. *Appl. Microbiol.* 582 - 587
- Drouzas A E, Schubert H** (1996) Microwave application in vacuum drying of fruits. *J Food Engineering* 28, 203 - 209
- Durance T D** (1999) Process for drying herbs, US patent 5,956,856, 28. September
- Durance T D** (2000) Process for drying medicinal plants, US patent 6,128,831, 10. Oktober
- Edelmann H, Reuß M, Schmalschläger T, Schulz H** (1986) Leistungsmessungen an bestehenden Solaranlagen in der Landwirtschaft. Bayerische Landesanstalt für Landtechnik der Technischen Universität München, Freising
- Eichenberger R, Henggeler S** (2002) Das Jahr im Biogarten. Mit Aussaat- und Arbeitskalender 3. Aufl., 128 S Paperback Ulmer, Eugen, GmbH & Co ISBN: 3800138964
- EEC Regulation 1864/90. Enclosure VIII.** (1990) Off. J. Eur. Communities, L170, 27 - 34
- Electric Power Research Institute** (1984) Microwave power in industry. Final Report EM-3645. Palo Alto USA.
- Ellis M B** (1968) *Acroconidiella tropaeoli*. CMI Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria No. 161. Kew, UK: Commonwealth Mycological Institute.
- Erle U, Schubert H** (2001) Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. Osmotic dehydration . *J Food Engineering* 49, 193 - 199
- Ettlinger M G, Lundeen A J** (1956) The structures of sinigrin and sinalbin: an enzymatic rearrangement. *J. Am. Chem. Soc.* 78, 4172 – 4173
- Ettlinger M G, Kjaer A** (1968) Sulfur compounds in plants. In Proceedings of the Sixth Annual Symposium of the Phytochemical Society of North America. Recent Advances in Phytochemistry 1, 59 - 144
- Euler G** (1971) Mikrowellenanwendung für die Industrie. Handbuch der Fa. VALVO, Hamburg
- Fachinformation der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e.V.** 10/99, 146
- Fahey J W, Zhang Y, Talalay P** (1997) Broccoli sprouts: an exceptionally rich source of inducers of enzymes protect against chemical carcinogens. *Proc. of the Natl. Acad. Sci.* 94, 10367 - 10372
- Fahey J W, Zalcmann A T, Talalay P** (2001) The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochem.* 56, 5 - 51
- Farmer G S, Brusewitz G H** (1980) Use of home microwave oven for rapid determination of moisture in wet alfalfa. *Trans. ASAE* 28 (1) 170 - 172
- Feeny P** (1977) Defensive ecology of the Cruciferae. *Ann. Missouri Bot. Garden* 64, 221 - 234
- Fenwick G R, Heaney R K, Mullin W J** (1983) Glucosinolates and their breakdown products in food and foodplants. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 18, 123 - 201
- Ferreres F, Gil M I, Castaner M, Tomas-Barberan F** (1997) Phenolic metabolites in red pigmented lettuce (*Lactuca sativa*). Changes with minimal processing and cold storage. *J. Agric. Food Chem.* 45 (11), 4249 - 4254
- Fieldsend J, Milford G F J** (1994 a) Changes in glucosinolates during crop development in single- and double-low genotypes of winter oilseed rape (*Brassica napus*): I. Production and distribution in vegetative tissues and developing pods during development and potential role in the recycling of sulphur within the crop. *Ann. appl. Biol.* 124, 531 - 542

- Fieldsend J, Milford G F J** (1994 b) Changes in glucosinolates during crop development in single- and double-low genotypes of winter oilseed rape (*Brassica napus*): II. Profiles and tissue-water concentrations in vegetative tissues and developing pods. *Ann. appl. Biol.* 124, 543 - 555
- Franke R, Dehe M** (2003) Ökologischer Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen in Deutschland – Stand und Probleme. *Z. Arzn. Gewpfl.* 8 (1), 17 – 26
- Franz G** (1996) Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus* L.). *Zeitschrift für Phytotherapie* 4, 255 - 262
- Freeman G G, Mossadeghi N** (1970a) Studies on effect of sulphate nutrition on flavour components of onion (*Allium cepa*) *Biochem J* 118, 24
- Freeman G G, Mossadeghi N** (1970b) Effect of sulphate nutrition on flavour components of onion (*Allium cepa*). *J. Sci. Food Agr.* 21, 610 - 615
- Freeman G G, Mossadeghi N** (1971) Water regime as a factor in determing flavour strength in vegetables. *Biochem. J.* 124, 61 - 62
- Freeman G G, Mossadeghi N** (1973) Studies on the relationship between water regime and flavour strength in water cress (*Rorippa nasturium-aquaticum* [L] Hayek,) cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) and onion (*Allium cepa*). *J. Hort. Sci.* 48: 365 - 378
- Friedman H, Rodov V, Vinokur Y, Goldman G, Rot I, Resnick N, Hagiladi A, Umiel N** (2005) *Tropaeolum majus* L. as edible flowers: growth and postharvest handling. *Advances in Horticultural Science* 19 (1), 3 - 8
- Friedrich G** (1955) Die Heilwirkung des Meerrettichs (*Cochlearia armoracia*). *Die Deutsche Drogerie* 6, 212 – 214
- Funebo T** (2000) Microwave assisted air dehydration of fruits and vegetables. Doctor Thesis. Department of Food Science. Chalmers University of Technology, Göteborg Schweden
- Gadamer J** (1899) 113. Prüfung des Senföles und des Senfspiritus. *Arch. Pharm.*, 237, 110 - 120
- Galzia M, Grünwald J** (2003) Markt und Marketing von Fertigprodukten aus Arzneipflanzen und die Deckung des Rohwarenbedarfs. *Z. Arzn. Gew. Pfl.* 8 (3), 104 - 107
- Ganong W F** (1979) Lehrbuch der medizinischen Physiologie. 4. Auflage, Springer, Berlin
- Gardner D R, Butler J L** (1982) Preparing crops for storage with a microwave vacuum (MIVAC) system. *Drying* 82, Mujumdar A S, Ed., Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 248 - 251
- Gattuso M A, Gattuso S J** (1999) Manual de procedimentos para analisis de drogas em polvo. Rosário: Universidade Nacional da Rosário 48p
- Gauch H G, Eaton E M** (1942) Effect of saline substrate on hourly levels of carbohydrates and inorganic constituents of barley plants. *Pl. Physiol. Lancaster*, 17, 347 - 365
- Gehrmann D** (2003) Jubiläumsbeitrag Trocknungstechnik. *Chemie Ingenieur Technik* 75 (10) 1507 - 1514
- Gershenzon J** (1984) Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. *Phytochemical Adaptations to Stress*, ed. By Timmerman BNC, Steelink C, Loewus F A. *Recent Adv. Phytochem.* 18, 273 - 320
- Gessner O, Orzechowski G** (1974) Gift und Arzneipflanzen von Mitteleuropa. 3. Auflage. Uni-Vlg. Winter, Heidelberg ISBN: 3825323722
- Gland A, Röbblerlen G, Thies W** (1981) Variation of alkenyl glucosinolates in seeds of Brassica species. *Z. Pflanzenzüchtg.* 87, 96 - 110
- Glendening T M, Poulton J E** (1988) Glucosinolate biosynthesis sulfation of desulfobenzylglucosinolate by cell-free extracts of cress (*Lepidium sativum* L.) seedlings. *Plant Physiol.* 86, 319 - 321

- Goos K H, Albrecht U, Schneider B** (2006) Wirksamkeit und Verträglichkeit eines pflanzlichen Arzneimittels mit Kapuzinerkressekraut und Meerrettich bei akuter Sinusitis, akuter Bronchitis und akuter Blasenentzündung im Vergleich zu anderen Therapien unter den Bedingungen der täglichen Praxis. *Arzneimittelforschung* 56, 249 - 257
- Gorakhpurwalla H D, McGinty R J, Watson C A** (1975) Determining moisture content of grain using microwave energy for drying. *J. Agr. Eng. Rs.* 20, 319 - 325
- Gracia R, Leal F, Rolz C** (1988) Drying bananas using microwave and air ovens. *Int. J. Food Sci. Techn.* 23, 73 - 80
- Graham S, Dayal H, Swanson M, Mittelman A, Wilkinson G** (1978) Diet in the epidemiology of cancer of the colon and rectum. *Journal of the National Cancer Institute* 61, 709 - 714
- Graf C, Schubert E, Thiele K, Müller J** (2002) Veränderung des mikrobiologischen Status von *Hypericum perforatum* L. während Ernte, Transport und Trocknung. *Z. Arzn. Gew. Pfl.* 7, 31 - 37
- Gülzower Fachgespräche:** Band 22: Erntetechnologie von Arznei- und Gewürzpflanzen (2004) aus der Schriftreihe Gülzower Fachgespräche der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V.
- Gunasekaran S** (1999) Pulsed Microwave-Vacuum-Drying of Food Materials. *Drying Techn.* 17(3), 395 - 412
- Habs M** (1980) Ernährung und Krebs. *Dtsche. Med. Wschr.* 105, 1369 - 1371
- Hänsel R** (1980) Phytotherapie unter besonderer Berücksichtigung der Arzneitherapie nach Kneipp. In Brüggemann, W.: *Kneipptherapie, ein Lehrbuch.* Heidelberg, 119 - 152
- Hänsel R, Haas H** (1983) Therapie mit Phytopharmaka. Berlin, Heidelberg, New York
- Halbeisen T** (1954) Untersuchungen über die antibiotischen Wirkstoffe von *Tropaeolum maius* (Kapuzinerkresse) *Naturwissenschaften (Historical Archive)* Publisher: Springer-Verlag GmbH ISSN: 0028-1042 (Paper) 1432 - 1904 (Online) DOI: 10.1007/BF00684067, 41 (16), 378 - 379
- Halkier B A** (1999) Glucosinolates. In: Ikan R (ed.) *Naturally occurring glucosides*, Wiley and Sons, Chichester, UK, 193 - 223
- Hammond K, Lewis B G** (1987) Variation in stem infections caused by aggressive and non-aggressive isolates of *Leptosphaeria maculans* in *Brassica napus* var. *oleifera*. *Plant Pathol.* 36, 53 - 65
- Haneklaus S, Bloem E, Hayfa S, Schnug E** (2005) Influence of elemental sulphur and nitrogen fertilisation on the concentration of essential micro-nutrients and heavy metals in *Tropaeolum majus* L. *Landbauforschung Völkenrode, Special Issue* 286, 25 - 35
- Hannig HJ** (1993) Qualitätskontrolle von Drogen- vom Anbau bis zum Fertigprodukt. *Herba Germanica* 1, 71
- Hartulistiyoso E** (1999) Untersuchungen zur Applikation von Mikrowellenenergie für die Entkeimung von Gewürzen am Beispiel von Majoran (*Majorana hortensis Moench*). *Dissertaion. Fakultät für Argarwissenschaften. Georg-August-Universität Göttingen*
- He H, Fingerling G, Schnitzler W H** (2000) Jahreszeitliche Variation der Glucosinolatgehalte in *Brassica campestris* L. spp. *Chinensis*. *J Appl Bot* 74, 198 - 202
- Hecht S S** (2000) Inhibition of carcinogenesis by isothiocyanates. *Drug Metab. Rev.* 32, 395 - 411
- Heeger E F** (1956) Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenanbaus. Drogengewinnung. Deutscher Bauernverlag
- Hegi G** (1957) Illustrierte Flora Mitteleuropa. Vol. IV Teil 3. Berlin, Hamburg: P. Parey Verlag, 1726 - 1732
- Heindl A** (2005) Möglichkeiten der Keimreduzierung bei Arznei- und Gewürzpflanzen vor, während und nach der Trocknung mittels Dampf- und Mikrowellenapplikation. *Z. Arzn. Gew. Pfl.* 10 (2), 100 - 105

- Heindl A** (2003a) Mikrowelle kann mehr - Einsatz der Mikrowellenvakuumtrocknung in der Lebensmittelindustrie. Lebensmitteltechnik 1 - 2, 60 - 63
- Heindl A** (2003b) Probleme und Lösungsmöglichkeiten bei der Aufbereitung und Trocknung von Arznei- und Gewürzpflanzen. Z. Arzn. Gew. Pfl. 8, 33 - 36
- Heindl A, Müller J** (2002) Mikrowellenunterstützte Trocknung von Arznei- und Gewürzpflanzen. Z. Arzn. Gew. Pfl.: Sonderausgabe zur Fachtagung für Heil- und Gewürzpflanzen vom 12. - 15. 11. 2001, Bad Neuenahr - Ahrweiler, 208 - 225
- Heindl A** (2000) Solare Warmlufttrocknung von Arznei- und Gewürzpflanzen. Z. Arzn. Gew. Pfl. 5, 80 - 88
- Heindl A** (1999) Trockner für Arznei- und Gewürzpflanzen. Überblick und mögliche Entwicklungen in der Zukunft. Drogenreport, 12 (21), 45 - 53
- Heindl A** (1993) Mikrowellengestützte Vakuumkonvektionstrocknung. Dissertation Technische Universität München. Lehrstuhl für Brauereianlagen und Lebensmittel – Verpackungstechnik / Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung.
- Heindl A, Holley W, Rehmann D** (1993) Mikrowellen-Vakuum-Konvektionstrocknung von Lebensmitteln. ZFL 6, 320 - 327
- Henrici M** (1952) Comparative study of the content of starch and sugars of *Tribulus terrestris*, lucerne, some Gramineae and *Pentzia incana* under different meteorological, edaphical and physiological conditions. Paper 2: Carbohydrate nutrition. Onderstepoort J vet. Sci. 25, 45 - 92 (Cited by Stocker O (1960) in Arid zone Research, Vol. 15 Plant-Water Relationships in Arid and Semi-Arid conditions, Reviews of Research, 76, UNESCO, Paris)
- Herrera F L** (1940) Plantas que curan y plantas que matan de la flora del Cuzco. Revista del Museo Nacional, Lima, 9, 102 - 103
- Herrmann K** (1977) Übersicht über nichtessentielle Inhaltsstoffe in Gemüsearten. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung 165 (1977/I), 87 - 98; 165 (1977/II), 151 - 164
- Herrmann K** (1978) Übersicht über nichtessentielle Inhaltsstoffe in Gemüsearten. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung 165 (1978), 262 - 273
- Hörsten D v, Saghir S** (1999) Herstellung qualitativ hochwertiger Trockenprodukte – Kombination von Mikrowellen und Warmluft. Landtechnik 5, 282 - 283
- Hofman M A J** (1965) Microwave heating as an energy source for the predrying of herbage samples. Plant and Soil 23 (1), 145 - 147
- Hoffmann F** (1978) Senföle. Chemie in unserer Zeit 6, 182 - 188
- Hoffmann-Bohm K, Koch H P** (1994) In: Hagers Handbuch der Pharmazeutischen Praxis, Vol.6 Hänsel, R., Keller, K., Rimpler, H. und Schneider, G. (Hrsg.) Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokio: 1004 - 1013
- Holm S N, Rahman MH, Stölen O, Sörensen H** (1985) Studies on pollination requirements in rapeseed (*Brassica campestris*). In: Advances in the production and utilization of cruciferous crops; Sörensen, H. ed. pp. 245 - 253, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk, Dordrecht.
- Hopkins R J, Ekbohm B, Henkow L** (1998) Glucosinolate content and susceptibility for insect attack of three populations of *sinapis alba*. J. Chem. Ecology, 24 (7), 1203 - 1216
- Hoppe H A** (1975/77) Drogenkunde Bd. I – Bd. III. 8. Auflage, Hamburg
- Hoppe B** (1996) Stand und Perspektiven des Anbaus von Arznei- und Gewürzpflanzen in Deutschland Z. Arzn. Gewpfl. 1 SH, 5 - 13

- Hühn T, Sponholz W R, Grossmann M K** (1999) Freisetzung unerwünschter Aromastoffe aus Pflanzenhormonen bei der alkoholischen Gärung. *Vitic. Enol. Sci.*, 54, 105 - 113
- Huyskens-Keil S, Schreiner M** (2003) Die Entwicklung des Qualitätsbegriffs bei Obst und Gemüse. *Ernährungs-Umschau* 50 (7), 257 - 261
- Iljin W S** (1935) Lebensfähigkeit der Pflanzenzellen in trockenem Zustand. *J. Planta* 24 (4) 742 - 754
- Ishii G, Saijo R** (1987) Effect of season, soil type, sulphate level, mulching and plant density on Isothiocyanate content in radish root juice (*Raphanus sativus* L.). *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 56, 313 - 320
- Isaac O, Kohlstaedt E** (1962) Beitrag zur Kenntnis des ätherischen Meerrettichöls. *Arch. Ph. Weinheim* 295, 165 - 173
- Jakobey H, Habegger R, Fritz D** (1988) Gemüse als Arzneipflanze – Sekundäre Pflanzenstoffe in Gemüse mit Bedeutung für die menschliche Gesundheit. 2. Mitteilung: Gemüse aus der Familie der Brassicaceae und der Familie der Apiaceae. *Ernährungs-Umschau* 35, 275 - 579
- Jander G, Cui J P, Nhan B, Pierce N E, Ausubel F M** (2001) The TASTY locus on chromosome 1 of *Arabidopsis* affects feeding of the insect herbivore *Trichoplusia ni*. *Plant Physiol.* 126, 890 - 898
- Jensen C R, Mogensen V O, Mortensen G, Fieldsend J K, Milford G F J, Andersen M N, Thage J H** (1996) Seed glucosinolate, oil and protein contents of field-grown rape (*Brassica napus* L.) affected by soil drying and evaporative demand. *Field Crop Res.* 47, 93 - 105
- Joergensen L B** (1987) Myrosin cells and other structural characteristics of glucosinolate plants. XIV Int. Botanical Congr. Berlin, Germany, 5-26-2
- Jones P L, Rowley A T** (1996) Dielectric drying. *Dry Technol.* 14 (5), 1063 - 1098
- Jongen W M F** (1996) Glucosinolates in Brassica: occurrence and significance as cancer-modulating agents. *Proc Nutr Soc* 55, 433 - 446
- Josefsson E** (1973) Studies of the biochemical background to differences in glucosinolate content in *Brassica napus* L.. III. Further studies to localize metabolic blocks. *Physiol. Plant.* 29, 28 - 32
- Kade P** (1995) Biologischer Anbau von Heilpflanzen, Paul Müggenburg GmbH & Co. KG, Alveslohe (unveröff.)
- Kader A A** (1992) Postharvest biology and technology: An overview. In: A A Kader (ed.) Postharvest Technology of Horticultural Crops. Univ. Calif. Div. Agric. Natural Res. Pub. 3311, 15 - 20
- Kaensup W, Chutima S, Wongwises S** (2002) Experimental study on drying of chilli in a combined microwave-vacuum-rotary drum dryer. *Dry Technol.* 20 (10), 2067 - 2079
- Karel M** (1991) Physical structure and quality of dehydrated foods. *Drying* 91, Elsevier Science Publishers, 26 - 35
- Keller K** (1991) Legal Requirements for the use of phytopharmaceutical drugs in the Federal Republic of Germany. *J. Ethnopharmacol.* 32, 225 - 229
- Khraisheh M A M, Cooper T J R, Magee R** (1995) Investigation and modelling of combined microwave and air drying. *Food and Bioproducts Processing* 73c, 121 - 126
- Khraisheh M A M, Cooper T J R, Magee R** (1997) Shrinkage characteristics of potatoes dehydrated under combined microwave and convective air conditions. *Dry. technol.* 15 (3-4), 1003 - 1022
- Kienholz M, Kemkes B** (1960) Die bakterielle Wirkung ätherischer Öle aus Meerrettich-Wurzeln (*Cochlearia armoracia* L.). *Arzneiforschung* 10, 917 - 919
- Kim S J, Matsuo T, Watanabe M, Watanabe Y** (2002) Effect of nitrogen and sulphur application on the Glucosinolate content in vegetable turnip rape (*Brassica rapa* L.). *Soil Sci. Plant Nutr.* 48, 43 - 49

- Kindl H, Underhill E W** (1968) Biosynthesis of mustard oil glucosides: N-hydroxyphenylalanine, a precursor of glucotropaeolin and a substrate for the enzymatic and nonenzymatic formation of phenylacetaldehyde oxime. *Phytochem.* 7, 745 – 756
- King J** (1980) *Separation Processes*, McGraw-Hill Education ISBN-10: 0070346127 ISBN-13: 978-0070346123
- Kinnersley A M, Turano F J** (2000) Gamma aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress. *Critical Reviews in Plant Science* 19 (6) 479 - 509
- Kirsi M, Julkunen R, Rimpilainen T** (1989) The effect of drying method on the aroma of the herbal tea plant (*Rubus idaeus*). *Flavors and off-flavors. Proceeding of the sixth international flavor conference*; Crete, Greece
- Kjaer A, Ogaard M J, Maeda Y** (1978) Seed volatiles within the family *Tropaeolaceae*. *Phytochem.* 17, 1285 - 1287
- Kjaer A** (1980) Glucosinolates and related compounds. *Food Chem.* 6, 223 - 234
- Kleinwächter M, Kramer D, Selmar D, Thiele J, Bloem E, Haneklaus S, Schnug E** (2007) Glucosinolat-reiche Kapuzinerkresse in der landwirtschaftlichen Nutzung: Entwicklung von *in vitro*-Vermehrungsverfahren zur Herstellung großer Mengen genetisch identischer *Tropaeolum majus*-Pflanzen mit hohem Gehalt an Glucosinolaten“ Schlussbericht des FNR FV: 22018101
- Kluthe R, Zürcher G** (1983) Einflüsse von Fett und Kohlenhydrate auf die Krebsentstehung. In Schlierf G (Hrs.): *Ernährung und Krebs. Symposium der DGE Oktober 1982 in Hamburg, Stuttgart 1983*, 127 - 135
- Koller W D, Kerner T, Raghavan B, Range P** (1998) Qualität von Arznei- und Gewürzpflanzen bei der Trocknung mit Mikrowelle. Infodienst Landwirtschaft Baden-Württemberg (www.infodienst-mlr.bwl.de/la/LAP)
- Kooiman P** (1960) On the occurrence of amyloids in plant seeds. *Acta Bot. Neerl.* 9, 208 - 218
- Koritsas V M, Lewis J A, Fenwick G R** (1989) Accumulation of indole glucosinolates in *Psylliodes chrysocephala* L infested, or *Psylliodes chrysocephala* L. damaged tissues of oilseed rape (*Brassica napus* L.) *Experientia* 45 (5), 493 - 495
- Koritsas V M, Lewis J A, Fenwick G R** (1991) Glucosinolate responses of oilseed rape, mustard and kale to mechanical wounding and infestation by cabbage stem flea beetle (*Psylliodes chrysocephala*) *Ann. Appl. Biol.* 118, 209 - 221
- Koster K L, Lynch D V** (1992) Solute accumulation and compartmentation during the cold acclimation of Puma rye. *Plant Physiol.* 98, 108 - 113
- Kudra T, Mujumdar A S** (2002) *Advanced Drying Technologies*, Marcel Dekker, Inc. New York, Basel.
- Kull U** (1993) *Grundriß der Allgemeinen Botanik*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Lambrix V, Reichelt M, Mitchell-Olds T, Kliebenstein D J, Gershenzon J** (2001) The Arabidopsis epithiospecifier protein promotes the hydrolysis of glucosinolates to nitriles and influences *Trichoplusia ni* herbivory. *Plant Cell* 13, 2793 - 2807
- Lampkin N** (1998) Ökologischer Landbau und Agrarpolitik in der Europäischen Union und ihren Nachbarstaaten. In: Willer H (Hsg.) *Ökologischer Landbau in Europa*. Deukalion Verlag Holm, 13 - 32
- Lang K** (1979) *Biochemie der Ernährung*. 4. Auflage. Darmstadt ISBN: 3798503753
- Larcher W** (1987) Streß bei Pflanzen. *Journal Naturwissenschaften* 74 (4), 158 - 167
- Larsen P O** (1981) Glucosinolates. *The biochemistry of plants* 7, 501 - 525

- Larsen L M, Nielsen A, Ploger A, Sørensen H** (1985) Responses of some beetle species to varieties of oilseed rape and to pure glucosinolates. In: advances in the production and utilization of cruciferous crops; Sørensen, H. ed. pp. 230 – 244, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk, Dordrecht.
- Lee R** (1989) Insect cold-hardiness: To freeze or not to freeze. *Bioscience* 39, 308 - 313
- Leopold A C** (1986) *Membranes, Metabolism and Dry Organisms*, Cornell Univ. Press, NY
- Levitt J** (1980) *Responses of Plants to Environmental Stresses*, Vol. I., Academic Press, New York
- Lewis C E, Walker J R L, Lancaster, J E** (1999) Changes in anthocyanin, flavonoid and phenolic acid concentrations during development and storage of coloured potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *J. Sci. Food Agric.* 79 (2), 311 - 316
- Lichtenstein E P, Morgan D G, Mueller C H** (1964) Naturally occurring insecticides in cruciferous crops. *J. Agric. Food Chem.* 12, 158 - 161
- Lykkesfeldt J, Møller B L** (1993) Synthesis of Benzylglucosinolate in *Tropaeolum majus* L. (Isothiocyanates as Potent Enzyme Inhibitors) *Plant Physiol.* 102 (2), 609 - 613
- Lin T M, Durance T D, Scaman C H** (1998) Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research Int.* 31 (2), 111 - 117
- Lindner E** (1979) *Toxikologie der Nahrungsmittel*. 2. Auflage. Thieme, Stuttgart ISBN: 3804715753
- Lück L** (1995) *Heil- und Gewürzpflanzen im Ökologischen Landbau*. Diplomarbeit Humboldt-Univ. Berlin
- Lüthy B, Matile P** (1984) The mustard oil bomb: rectified analysis of the subcellular organisation of the myrosinase system. *Biochem. Physiol. Pflanzen* 179, 5 - 12
- Machev N P, Schraudolf H** (1978) Thiocyanate as predecessor of asparagine in *Sinapis alba* L. *Plant Physiol. (Bulgaria)* 4: 26 - 33
- MacLeod A J** (1976) Volatile flavour compounds in the Cruciferae. In J G Vaughan, A J MacLeod and B M G Jones (eds.) *The Biology and Chemistry of the Cruciferae*, Academic Press, London, 307 - 330
- MacLeod A J, Nussbaum M L** (1977) The effects of different horticultural practices on the chemical flavour composition of some cabbage cultivars. *Phytochem.* 16, 861 - 865
- Madaus G** (1938) *Lehrbuch der biologischen Heilmittel*. Vol. 11. Haarausfall. Verlag Reclam, Leipzig: 2740
- Madaus G** (1976) *Lehrbuch der Biologischen Heilmittel*. Hildesheim: Georg Olms Verlag
- Makowski N, Troegel T** (2001) Krambe - eine alternative Sommerölfrucht. *Nachwachsende Rohstoffe e.V.* (Hrsg.) Band 19, Landwirtschaftsverlag GmbH Münster
- Manici L M, Lazzeri L, Palmieri S** (1997) *In vitro* fungitoxic activity of some glucosinolates and their enzyme-derived products towards plant pathogenic fungi. *J. Agric. Food Chem.* 45, 2768 - 2773
- Mason-Sedun W, Jessop R, Lovett J** (1986) Differential phytotoxicity among species cultivars of the genus Brassica to wheat. I. Laboratory and field screening of species. *Plant and Soil* 93, 3 - 16
- Matallana L, Kleinwächter M, Selmar D** (2006) Sulfur is limiting the glucosinolate accumulation in nasturtium in vitro plants (*Tropaeolum majus* L.) *J. Appl. Bot. Food Qual.* 80 (1), 1 - 5
- Matile P** (1980) Die Senfölbombe: Zur Kompartimentierung des Myrosinasesystems. *Biochem. Physiol. Pflanz.* 175, 722 - 731
- Matsuo M, Underhill E W** (1971) Purification and properties of a UDP glucose: thiohydroximate glucosyltransferase from higher plants. *Phytochem.* 10, 2279 - 2286

- McDanell R, McLean A E M, Hanley A B, Heaney R K, Fenwick G R** (1988) Chemical and biological properties of indole glucosinolates (glucobrassicins): A review. *Food Chem. Toxic.* 26, 59 - 70
- Merk D, Püschner PA** (1999) Mikrowellen-Vakuumtrocknung in der fortschrittlichen Verfahrenstechnik. *Vakuum in Forschung und Praxis* 4 (11), 252 - 256
- Merrien A** (1989) Double low oilseed rape in France: factors affecting glucosinolates levels. *Asp. Appl. Biol.* 23, 109 - 116
- Merrien A, Pouzet A** (1989) La fertilisation soufre. In : *Cahier technique colza agronomie*. CETIOM Paris France
- Metcalfe C R, Chalk L** (1950) *Anatomy of the dicotyledons*. London: Oxford University Press v L, 724
- Metz G** (2000) Scharfmacher im Profil. *Pharmazeutische Zeitung* 44, 28 - 33
- Mietkiewska E, Giblin E M, Wang S, Barton D L, Dirpaul J, Brost J M, Katavic V, Taylor D C** (2004) Seed-specific heterologous expression of a *T. majus* FAE gene in *Arabidopsis* results in a dramatic increase in the proportion of erucic acid. *Plant Physiol.* 136, 2665 - 2675
- Mikus-Plescher B, Goos KH, Plescher A** (2003) Qualitätsbeeinflussende Faktoren im Anbau und in der Verarbeitung von Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus* L.) *Z. Arzn. Gew. Pfl.* 8 (2), 61 - 67
- Mithen R F, Lewis B G, Fenwick G R** (1986) *In vitro* activity of glucosinolates and their products against *Leptosphaeria maculans*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 87, 433 - 440
- Mithen R F, Dekker M, Verkerk R, Rabot S, Johnson I T** (2000) The nutritional significance, biosynthesis and bioavailability of glucosinolates in human foods. *J. Sci. Food Agric.* 80, 967 - 984
- Monde K, Takasugi M, Lewis J A, Fenwick G R** (1991) Time-course studies of phytoalexins and glucosinolates in UV-irradiated turnip tissue. *Z. Naturforschung (Section C Biosciences)* 46, 189 - 193
- Monografie der Kommission E** (1992) Bundes-Anzeiger BAZ Nr. 162 vom 29.08.1992
- Müller L** (1979) Heil- und Giftpflanzen. VI. *Tropaeolum majus* L. Kapuzinerkresse. *Med. Inform.* 10, 260 - 265
- Nei T** (1964) Formation of cracks in the freezing and freeze-drying of some biological preparations. *Biodynamica: a journal for the study of the nature of life* 9 (189), 247 - 255
- Nielsen J K** (1977) Host plant relationships of *Phyllotreta nemorum* L. (Coleoptera: Chrysomelidae) *Z. Angew. Entomologie* 84, 396 - 407
- Nielsen J K** (1978) Host plant discrimination within Cruciferae: Feeding responses to four leaf beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) to glucosinolates, cucurbitacins and cardenolides. *Entomologia Exp. and Appl.* 24, 41 - 54
- Nielsen J K, Dalgaard L, Larsen L M, Sørensen H** (1979) Host plant selection of the horseradish flea beetle *Phyllotreta armoraciae* (Coleoptera: Chrysomelidae): feeding responses to glucosinolates from several crucifers. *Entomologia Exp. and Appl.* 25, 227 - 239
- Nielsen J K, Hansen M L, Agerbirk N, Petersen B L, Halkier B A** (2001) Responses of the flea beetles *Phyllotreta nemorum* and *P. cruciferae* to metabolically engineered *Arabidopsis thaliana* with an altered glucosinolate profile. *Chemoecology* 11, 75 - 83
- Nitz G M, Schnitzer W H** (2002) Variation der Glucosinolatgehalte bei den Rucolaarten *Eruca sativa* und *Diplotaxis tenuifolia* in Abhängigkeit des Ernteschnittes. *Journal of Appl. Bot. – Angewandte Botanik* 76, 82 - 86
- Novozamsky I, van Eck R, van der Lee J J, Houba V J G, Temminghoff E** (1986) Determination of total sulfur and extractable sulfate in plant materials by inductively-coupled plasma atomic emission spectrometry. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 172, 1147 - 1157

- Nuttall W F, Ukainetz H, Stewart J W B, Spurr D T** (1987) The effect of nitrogen, sulphur and boron on yield and quality of rapeseed (*Brassica napus* L. and *Brassica campestris* L.) Can. J. Soil Sci. 67, 545 - 559
- Oberndorfer C, Ebrahim-Sesbat F** (1999) Mikrowellen erhöhen die Ölausbeute – Veränderungen der Mikrostruktur von Rapssaaten durch den Einsatz von Mikrowellenenergie. Landtechnik 4, 208 – 209
- Oeser H, Koeppe P** (1983) Epidemiologische Zusammenhänge - kritisch betrachtet. In Schlierf G (Hrs.): Ernährung und Krebs. Symposium der DGE Oktober 1982 in Hamburg, Stuttgart 1983, 127 - 135
- Oliveira M E C, Franca A S** (2002) Microwave heating of foodstuffs. J Food Engineering 53, 347 – 359
- Orzechowski G** (1972) Antibiotika in höheren Pflanzen. Pharmazie in unserer Zeit I, 43 - 53
- Pank F** (1993) Grundlagen zeitgemäßer Großflächenproduktion von Arznei- und Gewürzpflanzen, Herba Germanica 1, 63
- Paoli A A S et al.** (2003) Anatomia vegetal Viosa: Editora UFV. 438
- Park D K, Bitton G, Melker R** (2006) Microbial inactivation by microwave radiation in the home environment J Environ Health 69 (5), 17 - 24
- Peterka S, Schlösser E** (1988) *In vitro* Aktivität von Glucosiolaten gegen *Phoma lingam* (Tode) Desm. und *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib) de Bary und ihre Bedeutung für die Krankheitsresistenz. Vortr. Pflanzenzüchtg. 13, 169 - 177
- Piel E** (1991) Erfahrungen mit Naturheilmitteln. Umfrageergebnisse aus West- und Ostdeutschland. Therapeutikon 5 (11) 549 - 551
- Piel E** (1992) Verbreitung und Akzeptanz der Naturheilverfahren und unkonventionellen medizinischen Richtungen. In: Naturheilverfahren und unkonventionelle medizinische Richtungen. Hrsg. v. M Bühring; F H Kemper. Berlin; Heidelberg; New York, Springer, 1 - 6
- Pihakaski K, Iversen TH** (1976) Myrosinase in Brassicaceae I. Localisation of myrosinase in cell fractions of roots of *Sinapis alba* L. J. Exp. Bot. 27, 242 - 258
- Pintao A M, Pais M S S** (1994) Cell suspension cultures from *Tropaeolum majus* L. establishment and growth conditions. Bioresource-Technology. 47 (2), 143 - 147
- Pintao A M, Pais M S S, Coley H, Kelland L R, Judson I R** (1995) *In vitro* and *in vivo* antitumor activity of benzyl isothiocyanate: a natural product from *Tropaeolum majus*. Planta Med. 61, 233 - 236
- Polesello A, Crivelli G, Geat S, Senesi E, Zerbini P** (1986) Research on the quick freezing of berry fruit II. Colour changes in frozen blackberries. Crop Res. (Hort. Res.) 26, 1 - 16
- Pollard M R, Stumpf P K** (1980) Long chain (C₂₀ and C₂₂) fatty acid biosynthesis in developing seeds of *Tropaeolum majus*: an *in vivo* study. Plant Physiol. 66, 641 - 648
- Prabhanjan D G, Ramaswamy H S, Raghavan G S V** (1995) Microwave assisted convective air drying of thin layer carrots. J Food Engineering 25, 283 - 293
- https://www.pueschner.com/basics/phys_basics.php
- Pulverer G** (1968) Benzylsenföle – ein Breitbandantibiotikum aus der Kapuzinerkresse. Dtsch. Med. Wschr. 93, 1642 - 1649
- Quaas F** (1998) Erfahrungen in der Arzneipflanzenproduktion am Beispiel der Agrargenossenschaft Nöbdenitz e.G.. Drogenreport 11 (20), 45 - 49
- Rada B, Hanusovska T, Dronmika L, Nemec P** (1971) Inhibition of virus multiplication by selected isothiocyanates. Acta Virol. 15, 329 - 332

- Radwan S S** (1976) Localization of lipids containing (Z)-11-eicosenoic acid and (Z)-13-docosenoic acid in *Tropaeolum majus*. *Phytochem.* 15 (11), 1727 - 1729
- Raghavan B, Koller W D** (1995) Qualität von mikrowellengetrocknetem Rosmarin. *Lebensmittel-Technologie* 28/9
- Rai V K** (2002) Role of amino acids in plant responses to stress. *Biologia Plantarum* 45 (4), 481 - 487
- Ramans M** (1989) Double low oilseed rape in the UK ex harvest 1988. In: Double low oil seed rape for the 1990's. Semundo Cambridge, 101 - 122
- Rask L, Andreasson E, Ekbom B, Eriksson S, Pontoppidan B, Meijer J** (2000) Myrosinase: gene family evolution and herbivore defense in Brassicaceae. *Plant Mol. Biol.* 42, 93 - 113
- Ratzka A, Vogel H, Kliebenstein D J, Mitchell-Olds T, Kroymann J** (2002) Disarming the mustard oil bomb. *PNAS* 99 (17), 1223 - 1228
- Regier M** (2005) Trocknen mit Mikrowellen, H P Schuchmann, H Schuchmann, Lebensmittelverfahrenstechnik, Wiley-VCH, 157 - 162
- Renwick J A A** (2001) Variable diets and changing taste in plantinsect relationships. *J. Chem. Ecol.* 27, 1063 - 1076
- Rodale R** (1980) Vegetables are the best medicine. *Prevention* 32 (5), 20 - 23
- Rodrigues A, Rosa E** (1999) Effect of post-harvest treatments on the level of glucosinolates in broccoli. *J. Sci Food Agric* 79, 1028 - 1032
- Röhricht C, Köhler A** (2005) Heil- und Gewürzpflanzen. Ökologische Heil- und Gewürzpflanzen in Sachsen. Anbau - Verarbeitung - Handel - Schaugärten. (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft)
- Rosa E A S** (1992) Glucosinolates in cabbage. A study of their variation throughout the growing season. Thesis, UTAD, Vila Real, Portugal
- Rosa E, Heaney R, Fenwick G R, Portas C A M** (1997) Glucosinolates in crop plants. *Horticultural Reviews* 19, 100 - 215
- Rosa E, Rodrigues P** (1998) The effect of light and temperature on glucosinolate concentration in the leaves and roots of cabbage seedlings. *J. Sci. Food Agric* 78, 208 - 212
- Rosenthal G A, Janzen D H** (1979) Herbivores: Their interaction with secondary plant metabolites. Academic Press, New York
- Rudat K D** (1969) Vergleichende Untersuchungen über die antimikrobielle Wirksamkeit verschiedener Lauchgewächse und Kruziferenarten. *Qual. Plant. Mater. Veg.* 18, 29 - 43
- Rusli M** (1998) Versuche zur kombinierten Mikrowellen- und Konvektionstrocknung von pflanzlichen Produkten, dargestellt am Beispiel von Kartoffeln und Majoran. Dissertation. Fakultät für Argarwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen
- Samwald A** (2007) Dörren. Früchte, Gemüse, Kräuter 4. überarb. Aufl. 128 S ISBN 3-8001-4922-2
- Sang J P, Bluett C A, Elliott B R, Truscott J W** (1986) Effect of time of sowing on oil content, ercic acid and glucosinolate contents in rapeseed (*Brassica napus* L. cv. Marnoo). *Austral. J. Exp. Agr.* 26, 607 - 611
- Sangalli A, Vieira M do C, Zarate N A H** (2004) Organic residue and nitrogen on the biomass production of nasturtium (*Tropaeolum majus* L.) 'Jewel'. *Ciencia e Agrotecnologia* 28 (4), 831 - 839
- Sankat C K, Castaigne F, Maharaj R** (1996) The air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated banana slices. *Int J Food Sci Technol* 31, 123 - 135

- Santa Cruz N C** (1991) Avances en la investigacion de tioglicosidos em plantas del género *Tropaeolum*, actividad antibacteriana y antifungica. Boletin de la sociedad químicadel Perú, Lima, 57 (4), 235 - 245
- Sauer U** (1988) Der Markt für Heil- und Gewürzpflanzen aus kontrolliert biologischem Anbau in der Bundesrepublik Deutschland – Situationsanalyse und Zukunftsperspektiven. Diplomarbeit Gesamthochschule Kassel
- Schäffer R J** (1980) Untersuchungen zu *in vitro* Wirksamkeit von Benzylsenföf gegen pathogene Bakterien und Sprosspilze. Diss. Köln 1980
- Schaller R, Heuberger H T, Schnitzler W H** (2000) Schnelle Aromastoffanalytik bei Rucola mit Headspace-SPME-GC – Einfluss von Stickstoff- und Schwefeldüngung. 37. Gartenbauwissenschaftliche Tagung. Zürich, 8. bis 10. März 2000. BDGL-Tagungsband 18/2000, 27
- Schauenberg P, Paris F** (1978) Bestimmungsbuch Heilpflanzen, BLV-Verlagsgesellschaft GmbH, München, 3. Aufl.
- Scheunert A, Theile E** (1952) Vitamin C content in green plants with special reference to the content of dihydroascorbic acid. Pharmazie 7, 776 - 780
- Schiffmann R F** (1995) Microwave and Dielectric Drying. In Handbook of Industrial Drying, Mujumdar A S Ed., Marcel Dekker: N Y. 1, 345 - 372
- Schnug E** (1987) Response of crop yield and quality to fertilization with elemental sulfur in Northern Germany. Proc. Symp. Int. Le Soufre Elémentaire En Agriculture 2, 553 - 561
- Schnug E** (1988) Quantitative und qualitative Aspekte der Diagnose und Therapie der Schwefelversorgung von Raps (*Brassica napus* L.) unter besonderer Berücksichtigung Glucosinolatarmer Sorten. Habilitationsschrift (Dsc thesis) Agrarwiss. Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- Schnug E** (1989) Double low oilseed rape in West Germany: sulphur nutrition and glucosinolate levels. Aspects of Applied Biology 23, 67 - 82
- Schnug E** (1990) Glucosinolates-fundamental, environmental and agricultural aspects. - In: Rennenberg H et al. (Ed.): Sulfur nutrition and sulfur assimilation in higher plants. Netherlands: SPB Acad. Publs., 97 – 106
- Schnug E** (1993) Physiological functions and environmental relevance of sulfur-containing secondary metabolites. - In: Kok L J de, et al. (Ed.): Sulfur nutrition and assimilation in higher plants. The Hague, Netherlands: SPB Acad. Publ. bv., 179 - 190
- Schnug E, Haneklaus S, Borchers A, Polle A** (1995) Relations between sulphur supply and glutathione and ascorbate concentrations in *Brassica napus*. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 158, 67 – 69
- Schnug E** (1997) Significance of sulphur for the nutritional and technological quality of domesticated plants. In: Cram W J, De Kok, L J, Stulen I, Brunold C and Rennenberg H "Sulphur Metabolismus in Higher Plants - molecular, ecophysiological and nutritional aspects." Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 109 - 130
- Schoenbeck F E, Schloesser E** (1976) Preformed substances as potential protectant. In: Physiological plant pathology, Heitefuß R and Williams P H eds., 653 - 678, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Schonhof I, Krumbein A** (1997) Schwefelversorgung beeinflusst Kopfgewicht und Inhaltsstoffgehalt. Versuche im deutschen Gartenbau, Gemüsebau 9, 55
- Schröder H** (1995) Blockheizkraftwerke auf Pflanzenölbasis für die Arznei- und Gewürzpflanzentrocknung. Herba Germanica 3, 145 - 149
- Schubert H, Regier M** (2006) Novel and traditional microwave applications in the food industry, M Willert-Porada (Ed.), Advances in Microwave and Radio-Frequency Processing, Springer, 259 - 270
- Schwedt G** (1996) Taschenatlas der Analytik; Georg Thieme Verlag, Stuttgart

- Selmar D** (1999) Biosynthesis of cyanogenic glucosides, glucosinolates and nonprotein amino acids. In: Wink M (ed.) Biochemistry of Plant secondary metabolism, CRC Press Sheffield, 79 - 150
- Selmar D, Bytof G** (2007) Green coffee is alive! A review on the metabolic processes taking place in coffee beans during processing and their implication for modern coffee research - proceedings in the ASIC, 21
- Serraj R, Shelp B J, Sinclair T R** (1998) Accumulation of gamma-aminobutyric acid in nodulated soybean in response to drought stress. *Physiologia-Plantarum* 102 (1), 79 - 86
- Shelp B J, Bown A W, McLean M D** (1999) Metabolism and functions of γ -aminobutyric acid. *Tr. Plant Sci.* 4, 446 - 452 (invited review)
- Siegl H, Habegger R, Hanke A, Kallabis K, Lewke A, Schnitzler W H** (1994) Erkennung und Intensivierung von Wertgebenden Geschmacks- und Aromastoffen in Brassicaceae und Apiaceae. Perspektiven der Land- und Ernährungswirtschaft im vereinigten Deutschland, 29. Hochschultagung im Juli 1992, 198 - 199
- Silva E M J, Machado S R** (1999) Estrutura e desenvolvimento dos tricomas secretores em folhas de *Piper regnellii* (Miq.) C. DC. Var. *Regnellii* (Piperaceae). *Revista Brasileira de Botânica*. Sao Paulo 22 (2), 117 - 124
- Snedden W A, Arazi T, Fromm H, Shelp B J** (1995) Calcium/Calmodulin activation of soybean glutamate decarboxylase. *Plant Physiol.* 108, 543 - 549
- Sparre B** (1975) Tropaeolaceae. Flora of Panama, part VI, family 86. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 62, 15 - 20
- Spiess W** (1964) Qualitätsänderungen bei der Gefriertrocknung von Gemüse und Obst. *Kältetechnik* 16, 349 - 358
- Spinks E A, Sones K, Fenwick G R** (1984) The qualitative/quantitative analysis of glucosinolates in *cruciferous* vegetables, oilseeds and forage crops using high performance liquid chromatography (HPLC). *Fette, Seifen, Anstrichmittel* 86, 228 - 231
- Steinberg R A, Bowling J D and McMurtrey J E** (1950) Accumulation of free amino acids as a chemical basis for morphological symptoms in tobacco manifesting frenching and mineral deficiency symptoms. *Pl. Physiol.*, Lancaster 25, 279 - 288
- Steinegger E, Hänsel R** (1972) Lehrbuch der Pharmakognosie auf phytochemischer Grundlage. 3. Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- Steinhoff B** (1997) Qualitätskontrolle pflanzlicher Drogen in ihrer Zubereitung unter Berücksichtigung neuer rechtlicher Regelungen. *Z Arzn Gewpfl* 2, 10 - 14
- Steward G R, Thompson J F, Dent C E** (1949) γ -Aminobutyric acid: a constituent of the potato tuber? *Science* 110, 439 - 440
- Stewart G R, Larher F** (1980) Accumulation of amino acids and related compounds in relation to environmental stress, in *Biochemistry of Plants*, B J Mifflin, Editor. Academic Press: New York, London, Toronto, Sydney, San Francisco, 609 - 635
- Strauss R, Bleiholder H, Van der Boom T, Buhr L, Hack H, Hess M, Klose R, Meier U, Weber E** (1994) Einheitliche Codierung der Phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. Ciba Geigy AG, Basel
- Strumillo C, Jones P, Zylla R** (1995) Energy aspects in drying. *Handbook of Industrial Drying*, 2nd Ed.; Mujumdar, A.S., Ed.; Marcel Dekker: N.Y.
- Sykut A** (1966) Carotinoids in Indian Cress Flowers (*T. majus*). *Acta Soc. Bot. Pol.* 35, 41 - 57
- Tambunan A H, Yudistira, Kisdyani, Hernani** (2001) Freeze drying characteristics of medicinal herbs. *Dry technol.* 19 (2), 325 - 331

- Tawfig N, Heaney RK, Plumb JA, Fenwick GR, Musk SRR, Williamson G** (1995) Dietary glucosinolates as blocking agents against cancerogenesis: Correlation between glucosinolate structure and induction of quinone reductase in murine hepa lc1c7 cells. *Carcinogenesis* 16, 1191 - 1194
- Thijssen H A C** (1972) Prevention of aroma losses during drying of liquid foods, *DECHEMA Monogr.*, 70, 353 - 366
- Thimann K V** (1985) The senescence of detached leaves of *Tropaeolum majus*. *Plant Physiol.* 79(4), 1107 - 1110
- Thuery J** (1983) Die Mikrowellen und ihre Wirkung auf die Materie – industrielle, landwirtschaftliche und medizinische Anwendung (französisch). Paris: Technique et documentation.
- Tierens K F M J, Thomma B P H, Brouwer M, Schmidt J, Kistner K, Porzel A, Mauch-Mani B, Cammue B P A, Broekaert W F** (2001) Study of the role of antimicrobial glucosinolate-derived isothiocyanates in resistance of Arabidopsis to microbial pathogens. *Plant Physiol.* 125, 1688 - 1699
- Toroser D, Wood C, Griffiths H, Thomas D R** (1995) Glucosinolate biosynthesis in oilseed rape (*Brassica napus* L.): studies with $^{35}\text{SO}_4^{2-}$ and glucosinolate precursors using oilseed rape pods and seeds. *J Exp Bot* 46 (288), 787 - 794
- Torringa H M, van Diyk E J, Bartels P V** (1996) Microwave puffing of vegetables: Modelling and measurements. Proceedings of the 31st microwave power symposium, Boston, USA, 28. - 31. Juli 1996, 16 - 19
- Turner I, Bremhorst K** (1992) The effect of combined microwave and convective drying of porous media on drying kinetics. *Drying'92*, 635 - 649
- Underhill E, Chrisholm M D, Wetter L R** (1962) Biosynthesis of mustard oil glucosides. I. Administration of C14-labelled compounds to horseradish, nasturtium, and watercress. *Can. J. Biochem. Physiol.* 40, 1505 - 1514
- Underhill E W, Wetter L A** (1969) Biosynthesis of mustard oil glucosides: sodium phenylacetothiohydroximate and desulfobenzylglucosinolate, precursors in benzylglucosinolate in *Tropaeolum majus* L. *Plant Physiol.* 44, 584 - 590
- Underhill E W, Wetter L A** (1973) Biosynthesis of glucosinolates. *Biochem. Soc. Symp.* 38, 303 - 326
- Underhill E W** (1980) Glucosinolates. In: *Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol. 8, Secondary Plant Products, 8 (New Series, Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York), 493 - 511
- Vaghri Z, Scaman C H, Kitts D, Durance T D McArthur D** (2000) Quality of the vacuum microwave blueberries in terms of color, composition and antioxidant activity. Proceedings of the 12th International Drying Symposium
- Van Etten C H, Tookey H L** (1978) Glucosinolates in cruciferous plants. In: Keeler R F, Van Kampen K R, James L F (eds.), *Effect of poisonous plants in livestock*, 507 - 520 Academic Press, London
- van't Land C M** (1991) *Industrial Drying Equipment*, Marcel Decker, Inc. 1991, 362 Seiten, ISBN 0-8247-8316-6
- Venkatachalapathy K, Raghavan G S V** (1997) Osmotic and microwave drying of blueberries. In: Proceedings of the 32nd microwave power symposium, Ottawa, Canada, 14. - 16. Juli 1997, 136 - 139 ISSN 1070
- Verhoeven D T H, Verhagen H, Goldbohm R A, van den Brandt P A, van Poppel G** (1997) A review of mechanisms underlying anticarcinogenicity by brassica vegetables. *Chemico-Biological Interactions* 103, 79 - 129
- Verkerk R, Dekker M, Jongen W M F** (2001) Post-harvest increase of indolyl glucosinolates in response to chopping and storage of *Brassica* vegetables. *J Sci Food Agr* 81 (9), 953 - 958
- Vichanova S A, Adgina V V, Izosimova S B** (1972) Essential oil as a source of new antifungal preparations. *Phytochem.* 27, 1993 - 1998

- Vieira B S, Barreto R W** (2002) First record of leaf-spot caused by *Acrocomidiella tropaeoli* on *Tropaeolum majus* in Brazil. *Plant Pathology* 51 (6), 805 - 805
- Vierheilig H, Bennett R, Kiddle G, Kaldorf M, Ludwig-Müller J** (2000) Differences in glucosinolate patterns and arbuscular mycorrhizal status of glucosinolate-containing plant species. *New Phytol.* 146, 343 - 352
- Villota R, Saguy I, Karel M** (1980) Storage stability of dehydrated food. Evaluation of literature data. *J. Food Quality* 3, 123 - 212
- Virtanen A I** (1962) Organische Schwefelverbindungen in Gemüse und Futterpflanzen. *Angewandte Chemie* 74, 374
- Vogel G** (1993) Kapuzinerkresse. *Gartenbaumagazin* 2, 9, 54 - 55
- Vohora S B, Rizwan M, Khan J A** (1973) Medicinal uses of common Indian vegetables. *Planta Med.* 23, 381 - 393
- VWD Landwirtschaft und Ernährung** vom 10.08.1994
- Wagner H, Wiesenauer M** (1995): Phytotherapie. Verlag G. Fischer, Stuttgart, Jena, New York, 188
- Wagner H** (1980) Pharmazeutische Biologie. Drogen und ihre Inhaltsstoffe. Stuttgart, New York ISBN: 3437204084
- Wallace W, Secor J, Schrader L E** (1984) Rapid accumulation of γ -aminobutyric acid and alanine in soybean leaves in response to an abrupt transfer to lower temperature, darkness, or mechanical manipulation. *Plant Physiol.* 75 (1), 170 - 175
- Watzl B, Leitzmann C** (1999) Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln. 2. überarb. Aufl. Hippokrates Verlag Stuttgart.
- Watzl B** (2001) Glucosinolate. *Ernährungs-Umschau* 48 (8), 330 – 333
- Wechselberg K** (1958) In vitro-Studien Über den Einfluß ölicher Pflanzenextrakte aus *Tropaeolum maius*, *Cochlearia armoracia* und *Allium sativum* auf das Wachstum von Tuberkelbakterien. *Medical Microbiology and Immunology* 145 (4), 380-394
- Weichmann J** (2000) Nacherntephysiologie und Sekundärstoffwechsel. *J. Appl. Bot.* 74, 126 - 130
- Weigel S** (2005) www.wzu.uni-augsburg.de/Forschung/Nanotechnologie/Photogalerie_Umweltfaktor_Staub_Kapuzinerkresse.html
- Weiss R F** (1980) Lehrbuch der Phytotherapie. 4. Auflage. Stuttgart 1980 ISBN: 3777306754
- Wetter L R, Chrisholm M D** (1968) Sources of sulphur in the thioglucosides of various higher plants. *Can. J. Biochem.* 46, 931 - 935
- Wicher W** (1954) Antibiotische Wirkstoffe aus Kapuzinerkresse (Tromalyt) als Heilmittel in der Urologie. *Med. Welt* 36, 1215
- Winter A G, Willeke L** (1953) Untersuchungen über Antibiotika aus höheren Pflanzen. VII. Mitteilung. Gasförmige Hemmstoffe aus *Lepidium sativum* und ihr Verhalten im menschlichen Körper bei Aufnahme von Lepidium-Salat *per os*. *Naturwiss.* 40, 167 -168
- Winter A G, Willeke L** (1954) Hemmstoffkonzentrationen im Urin nach Aufnahme von Salat bzw. Wirkstoffanreicherung (Tromalyt) der Kapuzinerkresse. *Naturwiss.* 41, 379 - 380
- Winter A G** (1955) Antibiotische Therapie mit Arzneipflanzen. *Planta Medica* 3, 1 - 16
- Winter A G, Rings-Willeke L** (1958) Untersuchungen über den Einfluss von Senfölen auf die Vermehrung des Influenza Virus im exembryonierten Hühnerei. *Arch. Microbiol.* 31, 311 - 318

Winter A (1959) Infektion und Ernährung im Lichte der Antibiotikaforschung, dargestellt am Beispiel der Senföle. In: Beiträge zum Antibiotika- und Eiweißproblem. Wissenschaftliche Veröffentlichungen der DGE, Darmstadt, 15 – 26

Wittstock U, Agerbirk N, Stauber E J, Olsen C E, Hippler M, Mitchell-Olds T, Gershenson J, Vogel H (2004) Successful herbivore attack due to metabolic diversion of a plant chemical defence. PNAS 101, 4859 - 4864

Wolfe J, Bryant G (1992) Physical principles of membrane damage due to dehydration and freezing. Mechanics of swelling: from clays to living cells and tissues. Karalis T K, NATO ASI Series H 64, 205 - 224

Wolfe J, Bryant G (2006) Cellular cryobiology and anhydrobiology. Thermal and physical stresses at low temperature and/or low hydration. <http://www.phys.unsw.edu.au/%7Ejw/cryoblurb.html>

Wolters B (1995) Drogen, Pfeilgift, Indianermedizin. Arzneipflanzen aus Südamerika. Verlag Urs Freud, Greifenberg, 169 - 173

www.stern.de/wissenschaft/gesund_leben/aktuell/518425.html?eid=518428 Artikel vom 06. Januar 2004

Yanyang X, Min Z, Mujumdar A S, Le-qun Z, Jin-cai S (2004) Studies on hot air and microwave vacuum drying of wild cabbage. Dry technol. 22 (9), 2201 - 2209.

Yevtushenko D P, McLean M D, Peiris S, Van Cauwenberghe O R, Shelp B J (2003) Calcium/calmodulin activation of two divergent glutamate decarboxylases from tobacco. Journal of Experimental Botany 54 (389), 2001-2002

Yongsawatdigul J, Gunasekaran S (1996) Microwave-Vacuum drying of cranberries Part II. Quality Evaluation. J Food Processing and Preservation 20, 145 - 156

Yousif A N, Scaman C H, Durance T D, Girard B (1999) Flavor volatiles and physical properties of vacuum-microwave- and air-dried sweet basil (*ocimum basilicum* L.) J Agric Food Chem 47, 4777 - 4781

Yousif A N, Durance T D, Scaman C H, Girard B (2000) Headspace volatiles and physical characteristics of vacuum-microwave, air and freeze-dried oregano (*Lippia berlandieri* Schauer). J Food Sci 65 (6), 926 - 930

Zanetti G D, Manfron M P, Hoelzel S C, da Silva M (2003) Acute toxicity and antibacterial activity of *Tropaeolum majus* L. extracts. Acta Farmaceutica Bonaerense 22 (2), 159 - 162

Zanetti G D, Manfron M P, Silva Hoelzel S C (2004) Morpho-anatomical analysis of *Tropaeolum majus* L. (Tropaeolaceae) Iheringia Serie Botanica 59 (2), 173 - 178

Zhang Y, Kensler T W, Cho C G, Posner G H, Talalay P (1994) Anticarcinogenic activities of sulforaphane and structurally related synthetic norbornyl isothiocyanates. Proc Natl Acad Sci USA 91, 3147 - 3150

Zhao F J, Whithers P J A, Evans E J, Monaghan J, Salmon SE, Shewry P R, McGrath S P (1997) Sulphur nutrition: an important factor for the quality of wheat and rapeseed. Soil Sci. Plant Nutr. 43, 1137 - 1142

Zobelt U, Daniel P, Marquard R (1986) Vergleichende Untersuchungen über Glucosinolatgehalte in der Grünmasse von Raps und Rübsen ihre Auswirkungen auf das Fressverhalten von Schafen. VDLUFA-Schriftenreihe 20, 561 - 571

9 Anhang

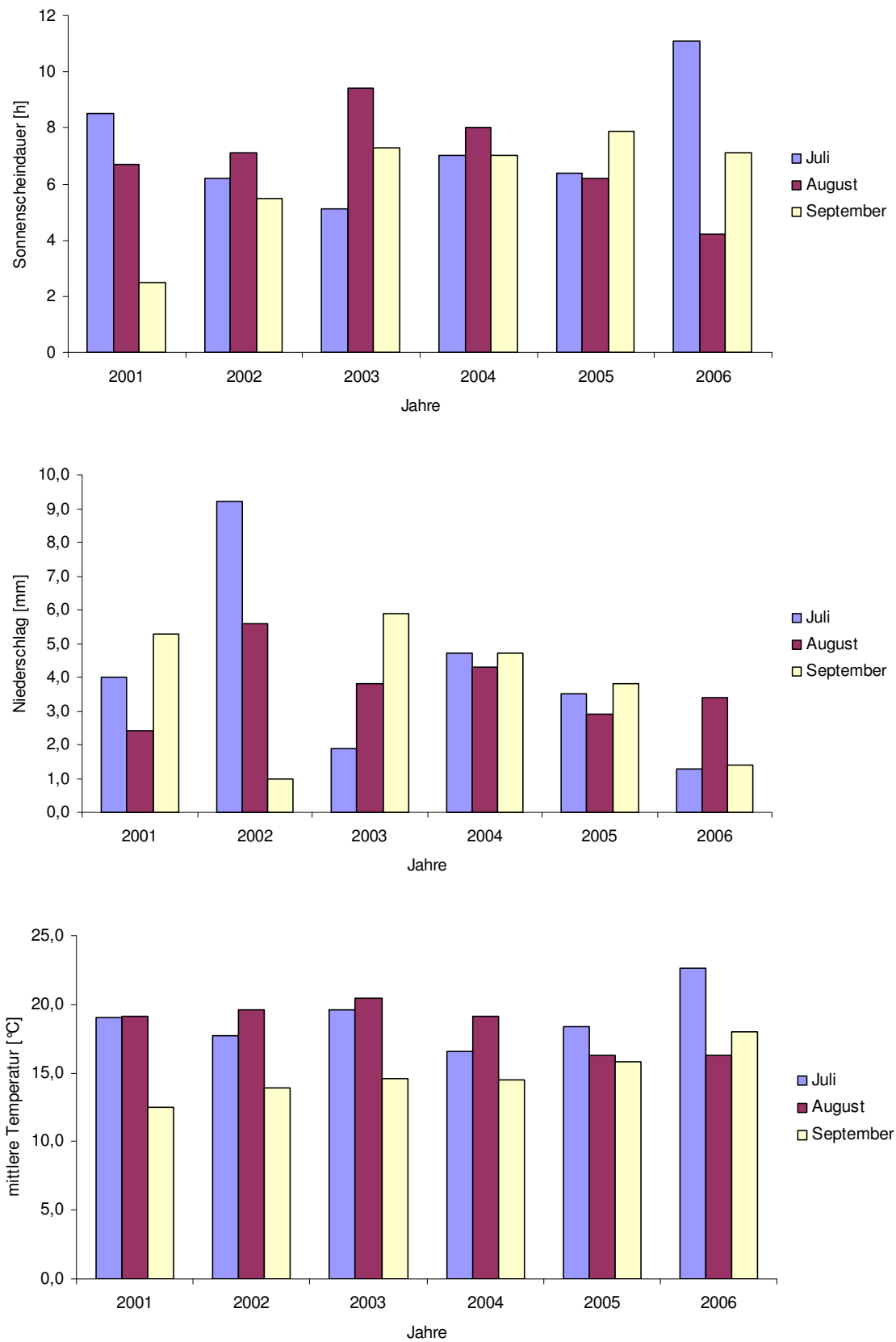


Abb. A 1: Vergleich der Sonnenscheindauer, Niederschlagsmenge und mittleren Temperatur der Jahre 2001 - 2006.

Tab. A 1: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern mit verschiedenen Trocknungstechniken getrocknet (Versuchsjahr 2004).

Datum	Trocknungs- technik	Schwefel- versorgung	Wdh.	GTL-Gehalt [μmol/g TM]	GTL-Gehalt Mittelwert	Trocknungs- dauer	
29.07.04	TS	-S	1	22,3	19,6	5 d	
			2	17,3			
			3	20,1			
			4	18,7			
		+S	1	34,2	32,7		
			2	31,4			
			3	33,0			
			4	32,2			
	GF	-S	1	2,5	1,8	3 - 5 d	
			2	1,7			
			3	1,6			
			4	1,4			
		+S	1	3,6	2,6		
			2	3,5			
			3	1,3			
			4	2,1			
	KT	-S	1	15,6	16,4	24 h	
			2	16,7			
			3	18,5			
			4	14,9			
		+S	1	24,7	27,2		
			2	29,7			
			3	30,0			
			4	24,3			
	VT	-S	1	18,6	19,9	5 d	
			2	17,4			
			3	23,4			
			4	20,5			
		+S	1	29,0	30,3		
			2	33,1			
			3	28,2			
			4	30,8			
11.10.04	TS	-S	1	48,2	53,9	5 d	
			2	52,2			
			3	61,3			
		+S	1	52,0	60,9		
			2	66,2			
			3	64,5			
	MW	-S	1	58,9	55,9	2 x 50 s	
			2	54,6			
			3	54,1			
		+S	1	44,6	57,1		
			2	65,3			
		3	61,5				

Fortsetzung Tab. A 1: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern nach verschiedenen Trocknungstechniken getrocknet (Versuchsjahr 2004).

Trocknungstechniken 2004						
Datum	Trocknungs- technik	Schwefel- versorgung	Wdh.	GTL-Gehalt [μmol/g TM]	GTL-Gehalt Mittelwert	Trocknungs- dauer [d]
11.10.04	GF	-S	1	61,3	55,1	3 - 5
			2	49,6		
			3	54,4		
		+S	1	57,0	59,7	
			2	59,0		
			3	63,2		
15.10.04	TS	-S	1	67,7	67,8	5
			2	66,5		
			3	69,3		
		+S	1	62,3	64,9	
			2	61,7		
			3	70,8		
	GF	-S	1	15,5	13,4	3 - 5
			2	9,3		
			3	15,3		
		+S	1	25,9	18,6	
			2	14,6		
			3	15,2		

Tab. A 2: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern mit verschiedenen Techniken getrocknet (Versuchsjahr 2005).

Trocknungstechniken 2005						
Datum	Trocknungs- technik	Genotyp / S-Düngung	Wdh.	GTL-Gehalt [μmol/g TM]	GTL-Gehalt Mittelwert	Trocknungs- dauer [d]
26.05.05	TS	FL31 - S	1	15,3	11,5	5
			2	12,9		
			3	6,4		
		FL37 - S	1	13,5	11,9	
			2	8,8		
			3	13,5		
		BG8 - S	1	10,0	10,5	
			2	11,1		
		BG26 - S	1	24,6	23,3	
			2	25,7		
			3	19,7		
12.08.05	TS	FL37 -S	1	44,7	42,4	5
			2	39,2		
			3	43,4		
		FL37 +S	1	55,5	55,5	
			2	55,5		
			3	55,5		

Fortsetzung Tab. A 2: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern nach verschiedenen Trocknungstechniken getrocknet (Versuchsjahr 2005).

Trocknungstechniken 2005						
Datum	Trocknungs- technik	Genotyp / S-Versorgung	Wdh.	GTL-Gehalt [μmol/g TM]	GTL-Gehalt Mittelwert	Trocknungs- dauer
12.08.05	VT	FL37 -S	1	34,4	40,3	5 d
			2	45,3		
			3	41,3		
		FL37 +S	1	44,0	39,6	
			2	45,7		
			3	29,2		
	KT	FL37 -S	1	0,7	0,6	24 h
			2	0,6		
			3	0,6		
		FL37 +S	1	0,9	0,7	
			2	0,6		
			3	0,6		
	MW	FL37 -S	1	29,5	30,0	2 x 50 s
			2	24,8		
			3	35,7		
		FL37 +S	1	44,2	41,8	
			2	42,4		
			3	38,9		
	GF	FL37 -S	1	-80 °C-Gefrierschrank mit Proben abgetaut		
			2			
			3			
		FL37 +S	1			
			2			
			3			
26.08.05	GF	FL37 +S Sichelprobe	1	15,7	14,4	3 d
			2	24,1		
			3	13,8		
			4	13,1		
			5	9,4		
			6	7,1		
			7	20,2		
			8	11,8		
27.08.05	TS	FL37 +S Sichelprobe	1	54,5	59,4	5 d
			2	58,0		
			3	65,9		
15.09.05	HTa	FL37 +S	1	41,0	41,0	24 h
22.09.05	HTa	Sichelprobe	1	39,4	40,0	24 h
			2	40,5		

Tab. A 3: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern im Trockenschrank bei 40 °C getrocknet (Trocknungsdauer: 5 Tage, Versuchsjahr 2006).

Datum	Wdh.	Probenmenge [Blätter]	GTL-Gehalt [μmol/g TM]	GTL-Gehalt Mittelwert [μmol/g TM]
05.07.06	1	10	39,0	27,9
	2		27,7	
	3		31,9	
	4		29,8	
	5		24,0	
	6		24,6	
	7		22,8	
	8		23,2	
09.08.06	1	10	33,4	35,8
	2		35,7	
	3		36,2	
	4		37,8	
06.09.06	1	10	65,8	61,2
	2		75,9	
	3		30,4	
	4		72,8	
	1	80	36,5	36,5
	2		33,6	
	3		32,4	
	4		43,3	
13.09.06	1	10	57,5	40,3
	2		49,4	
	3		18,9	
	4		35,2	
	1	80	41,4	46,7
	2		45,8	
	3		30,0	
	4		69,8	

Tab. A 4: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern im Mikrowellengerät getrocknet (Trocknungsdauer 2 min, Versuchsjahr 2006).

Datum	Wdh.	Probenmenge [Blätter]	GTL-Gehalt [μmol/g TM]	GTL-Gehalt
				Mittelwert [μmol/g TM]
05.07.06	1	10	28,0	28,3
	2		28,4	
	3		31,9	
	4		24,7	
09.08.06	1	10	34,1	34,8
	2		39,3	
	3		33,5	
	4		32,1	
06.09.06	1	10	39,7	49,8
	2		59,0	
	3		60,4	
	4		40,1	
	1	80	65,4	58,0
	2		54,7	
	3		60,2	
	4		51,7	
13.09.06	1	10	41,2	55,6
	2		57,4	
	3		62,1	
	4		61,9	
	1	80	26,6	37,6
	2		34,6	
	3		41,8	
	4		47,4	

Tab. A 5: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern im Hordentrockner getrocknet (Versuchsjahr 2006).

Datum	Horde	Abstand zum Heizgebläse[cm]	Trocknungs- dauer [h]	Probenmenge [Blätter]	GTL-Gehalt [μmol/g TM]
05.07.06 HTa	1	24	24	10	0,6
	1	24	24		1,0
	1	24	24		0,7
	1	24	24		0,6
30.08.06 HTb	1	30	8	80	61,0
	2	63	24		22,2
	3	95	24		8,7
09.08.06 HTb	1	30	8	10	32,3
	2	63	24		33,7
	3	95	24		11,4
06.09.06 HTb	1	30	8	80	46,5
	2	63	24		28,1
	3	95	24		9,4
13.09.06 HTb	1	30	8	80	15,1
	2	63	24		2,6
	3	95	24		1,1

Tab. A 6: GTL-Gehalte von gefriergetrockneten Kapuzinerkresseblättern (Trocknungsdauer 3 - 5 Tage, Versuchsjahr 2006).

Datum	Wdh.	Probenmenge [Blätter]	GTL-Gehalt [μmol/g TM]	GTL-Gehalt
				Mittelwert [μmol/g TM]
05.07.06	1	10	10,5	14,3
	2		23,0	
	3		13,0	
	4		10,5	
GF TU	1	10	19,3	13,2
	2		9,8	
	3		12,4	
	4		11,3	
09.08.06	1	10	10,4	10,4
	2		5,4	
	3		14,1	
	4		11,5	
06.09.06	1	10	11,9	6,1
	2		3,7	
	3		4,5	
	4		4,2	
	1	80	23,1	27,2
	2		42,0	
	3		16,2	
	4		27,5	
13.09.06	1	10	3,4	3,1
	2		1,7	
	3		4,8	
	4		2,6	
	1	80	30,4	20,2
	2		7,0	
	3		34,6	
	4		8,8	

Tab. A 7: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern im Kondenstrockner getrocknet (Trocknungsdauer 24 h, Versuchsjahr 2006).

Datum	Wdh.	Probenmenge [Blätter]	GTL-Gehalt [μmol/g TM]	GTL-Gehalt
				Mittelwert [μmol/g TM]
05.07.06	1	10	5,6	7,0
	2		6,4	
	3		7,3	
	4		8,7	
09.08.06	1	10	0,9	1,0
	2		0,9	
	3		0,9	
	4		1,5	
06.09.06	1	80	0,5	0,5
	2		0,5	
	3		0,4	
	4		0,5	
13.09.06	1	80	0,9	0,9
	2		1,0	
	3		0,8	
	4		0,9	

Tab. A 8: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern im Vakuumtrockenschrank getrocknet (Versuchsjahr 2006).

Datum	Wdh.	Probenmenge [Blätter]	GTL-Gehalt [μmol/g TM]	GTL-Gehalt	Trocknungs- dauer [d]
				Mittelwert [μmol/g TM]	
05.07.06	1	10	1,8	4,7	8
	2		3,0		
	3		6,6		
	4		7,4		
09.08.06	1	10	24,6	23,2	5
	2		26,0		
	3		25,2		
	4		16,9		
06.09.06	1	10	28,1	20,0	5
	2		13,8		
	3		32,4		
	4		5,9		
13.09.06	1	80	1,4	1,3	10
	2		0,1		
	3		2,3		
	4		1,3		

Tab. A 9: Witterungsdaten für das Versuchsjahr 2005

Datum	Termin	Temperatur mittel [°C]	Temperatur max. [°C]	Temperatur min. [°C]	Sonnen- scheindauer [h]	Nieder- schlag [mm]
27.05.05	1	23,4	30,0	16,9	14,3	
09.06.05	2	13,0	18,9	6,1	12,2	
23.06.05	3	20,8	27,5	11,4	15,2	
07.07.05	4	14,4	18,0	12,8	0,5	1,4
11.07.05	5	21,0	27,6	12,5	12,9	
21.07.05	6	13,8	16,1	12,3	0,0	20,7
04.08.05	7	15,6	21,2	11,2	7,2	0,3
18.08.05	8	19,3	26,0	10,8	13,8	
01.09.05	9	23,7	31,3	17,8	11,9	0,3
06.09.05	10	20,7	28,7	13,3	12,5	

Tab. A 10: Witterungsdaten für das Versuchsjahr 2006

Datum	Tage nach Auspflanzung	Temperatur mittel [°C]	Temperatur max [°C]	Temperatur min [°C]	Sonnenschein- dauer [h]	Nieder- schlag [mm]
30.05.06	0	8,1	11,7	6,3	2,3	2,2
05.07.06	36	24,9	32,1	15,6	14,6	6,2
27.07.06	58	25,2	34,1	19,3	5,1	2,2
08.08.06	70	17,8	21,8	15,3	4,1	1,2
05.09.06	98	16,8	21,3	12,9	4,1	
12.09.06	105	20,1	27,6	12,4	12,1	

Tab. A 11: Trockenmassezunahme von Klon FL37 im Verlauf der Vegetationsperiode in Bezug auf Beprobungstermin, Schwefelversorgung, Pflanzabstand und Trockenmassen der Pflanzenteile pro Pflanze (Versuchsjahr 2005, Pflanzabstand 30 cm).

Klon FL37			Trockenmasse [g]					Abgestorbenes Pflanzenmaterial
Datum	Schwefelversorgung	Wdh.	Blatt	Stängel	Samen	Knospe	Blüte	
27.05.05	ohne Düngung	1	0,28	0,45				
		2	0,28	0,47				
		3	0,25	0,57				
		4	0,21	0,37				
09.06.05	ohne Düngung	1	0,55	0,55				
		2	0,48	0,55				
		3	0,41	0,56				
		4	0,63					
23.06.05	-S	1	3,20	1,56				
		2	4,02	2,44				
		3	3,31	1,91				
	+S	1	2,67	1,40				
		2	2,24	1,35				
		3	5,44	3,22				
07.07.05	-S	1	11,73	12,60	0,43	0,34	0,35	
		2	13,40	14,34	0,45	0,45	0,34	
		3						
	+S	1	8,37	8,52	0,32	0,56	0,17	
		2	11,67	15,96	0,48	0,79	0,80	
		3	13,93	17,87	0,46	0,23	0,23	
21.07.05	-S	1	14,12	16,60	0,00	0,19	0,45	
		2	15,08	24,40	1,65	0,48	4,01	
		3	29,85	50,88	2,20	0,97	4,12	
	+S	1	26,44	50,94	1,14	1,11	2,51	
		2	11,34	31,30	0,17	0,54	1,41	
		3	9,74	21,30	0,59	0,53	1,86	
04.08.05	-S	1	15,34	30,33	0,86			
		2	28,48	69,80	2,97			
		3	19,19	44,43	2,13			
	+S	1	16,20	35,25	2,58			
		2	17,84	35,07	1,82			
		3	26,29	43,11	0,94			
18.08.05	-S	1	15,03	34,97	1,53			7,00
		2	11,78	29,28	0,17			8,67
		3	13,01	35,41	0,87			15,29
	+S	1	9,51	22,52	0,30			10,01
		2	22,04	53,19	2,44			10,74
		3	20,81	50,10	1,50			19,21
01.09.05	-S	1	51,23	84,41	0,00			
		2	49,35	87,49	14,33			
		3	58,32	120,77	16,32			
	+S	1	51,76	91,36	16,52			
		2	59,26	118,62	15,89			
		3	53,16	206,64	14,66			

Tab. A 12: Trockenmassezunahme von Klon BG8 im Verlauf der Vegetationsperiode in Bezug auf Beprobungstermin, Schwefelversorgung, Pflanzabstand und Trockenmassen der Pflanzenteile pro Pflanze (Versuchsjahr 2005, Pflanzabstand 30 cm).

Klon BG8			Trockenmasse [g]					
Datum	Schwefelversorgung	Wdh.	Blatt	Stängel	Samen	Knospe	Blüte	Abgestorbenes Pflanzenmaterial
27.05.05	ohne Düngung	1	0,44	0,73				
		2	0,36	0,66				
		3	0,40	0,67				
		4	0,28	0,49				
09.06.05	ohne Düngung	1	0,51	0,38				
		2	0,43	0,31				
		3	0,44	0,37				
		4	0,36	0,34				
23.06.05	-S	1	6,04	3,73				
		2	5,27	3,13				
		3	5,43	3,35				
	+S	1	2,27	1,66				
		2	6,59	4,31				
		3	6,45	3,39				
07.07.05	-S	1		0,95		0,87	0,19	
		2		8,93	0,68	0,76	0,82	
		3	13,69	24,30	0,84	1,44	0,95	
	+S	1	15,06	21,18	0,51	1,05	0,80	
		2	17,86	32,91	0,45	1,52	1,46	
		3	0,51	9,31	0,61	0,72	0,45	
21.07.05	-S	1	17,94	27,50	7,38	1,44	3,57	
		2	17,84		5,65	1,10	8,34	
		3	13,85	32,34	4,19	0,00	5,10	
	+S	1	10,69	22,59	1,99	0,67	3,27	
		2	11,92	26,99	5,29	0,37	3,56	
		3	7,45	15,63	3,63	0,24	1,25	
04.08.05	-S	1	29,78	62,64	13,40			
		2	19,98	51,17	18,01			
		3	32,28	58,88	12,18			
	+S	1	19,28	38,87	9,78			
		2	25,86	45,20	6,19			
		3	28,14	55,37	12,98			
18.08.05	-S	1	12,52	33,28	8,89			16,90
		2	18,92	51,01	15,14			13,72
		3	15,73	41,37	10,60			
	+S	1	19,08	48,86	16,70			9,95
		2	13,93	35,82	11,42			8,31
		3	17,81	35,55	8,85			6,09
01.09.05	-S	1	63,37	132,06	18,39			
		2						
		3	57,50	110,63	15,83			
	+S	1	49,75	94,19	18,61			
		2	61,66	117,18	20,34			
		3	67,72	117,73	23,61			

Tab. A 13: Trockenmassezunahme von Klon BG26 im Verlauf der Vegetationsperiode in Bezug auf Beprobungstermin, Schwefelversorgung, Pflanzabstand und Trockenmassen der Pflanzenteile pro Pflanze (Versuchsjahr 2005, Pflanzabstand 30 cm).

Klon BG26			Trockenmasse [g]					Abgestorbenes Pflanzenmaterial
Datum	Schwefelversorgung	Wdh.	Blatt	Stängel	Samen	Knospe	Blüte	
27.05.05	ohne Düngung	1	0,24	0,23				
		2	0,21	0,20				
		3	0,10	0,15				
		4	0,28	0,25				
09.06.05	ohne Düngung	1	0,69	0,55				
		2	0,59	0,62				
		3	0,79					
		4	0,78	0,88				
23.06.05	-S	1	3,07	1,82				
		2	2,98	1,78				
		3	11,11	1,64				
	+S	1	1,29	0,88				
		2	2,31	1,42				
		3	1,43	0,64				
07.07.05	-S	1	7,60	11,80	0,49	1,26	1,34	
		2	9,82	12,44	0,73	1,10	1,29	
		3		10,21	0,78	1,55	1,34	
	+S	1	8,31	11,97	0,88	1,75	1,25	
		2	6,69	8,64	0,42	1,47	0,99	
		3	7,98	9,27	0,58	1,20	0,54	
21.07.05	-S	1	5,21	6,72	2,56	0,49	2,68	
		2	3,72	6,00	1,50	0,55	2,16	
		3		4,42	1,53	0,37	1,66	
	+S	1	8,41	14,82	2,51	0,37	3,90	
		2	9,39	20,39	2,57	0,47	5,94	
		3	8,63	11,91	1,64	0,28	1,90	
04.08.05	-S	1	31,61	47,68	6,96			
		2	26,71	47,42	14,18			
		3	25,90	46,14	11,40			
	+S	1	19,85	37,22	15,17			
		2	26,19	25,00	9,73			
		3	32,58	49,35	14,23			
18.08.05	-S	1	43,42	82,77	6,57			21,34
		2	27,19	54,89	19,45			7,43
		3	23,14	38,51	9,33			5,17
	+S	1	52,35	55,46	12,17			10,01
		2	42,81	80,69	9,45			10,10
		3	48,90	72,41	2,75			2,47
01.09.05	-S	1	86,02	149,29	16,29			
		2	84,39	131,14	16,10			
		3	78,99	104,21	16,18			
	+S	1	71,93	131,62	15,37			
		2	48,92	72,74	15,32			
		3	66,24	97,68	16,03			

Tab. A 14: Trockenmassezunahme der Saadmischung im Verlauf der Vegetationsperiode in Bezug auf Beprobungstermin, Schwefelversorgung, Saatabstand und Trockenmassen der Pflanzenteile pro Pflanze (Versuchsjahr 2005).

Datum	Saadmischung		Wdh.	Trockenmasse [g]				
	Schwefelversorgung	Pflanzabstand [cm]		Blatt	Stängel	Samen	Knospe	Blüte
07.07.05	-S	30	1	4,59	4,08			
			2	4,09				
			3					
	+S	30	1		3,15			
			2		1,43			
			3	4,29	3,03			
	-S	60	1	3,78	2,91			
			2	4,01	3,20			
			3	3,98	2,93			
11.07.05	+S	60	1	7,90	6,58			
			2	7,25	6,06			
			3	6,28	4,81			
21.07.05	-S	30	1	8,91	12,94		0,73	
			2	8,43	11,05		0,24	
			3	9,62			0,54	
	+S	30	1	6,06	6,54		0,06	
			2		13,40		0,16	
			3	6,56	8,28		0,16	
	-S	60	1	8,75	9,88		0,00	
			2	8,02	8,07		0,01	
			3	7,69	7,37		0,25	
	+S	60	1	10,97	12,49		0,17	
			2	11,91	8,70		0,34	
			3	7,96	11,72		0,02	
04.08.05	-S	30	1	13,98	7,20	0,14		
			2	14,07	14,35	0,08		
			3	10,95	14,07	0,10		
	+S	30	1	23,79	43,04	0,25		
			2	9,56	4,69	0,01		
			3	7,56	14,07			
	-S	60	1	22,55	31,28	0,14		
			2	19,50		0,14		
			3	22,79	25,86	0,57		
	+S	60	1	32,51	49,16	0,02		
			2	33,17	57,64			
			3	36,24	63,77	0,03		

Fortsetzung von Tab. A 14: Trockenmassezunahme der Saadmischung im Verlauf der Vegetationsperiode in Bezug auf Beprobungstermin, Schwefelversorgung, Saatabstand und Trockenmassen der Pflanzenteile pro Pflanze (Versuchsjahr 2005).

Saadmischung			Trockenmasse [g]				
Datum	Schwefelversorgung	Pflanzabstand [cm]	Wdh.	Blatt	Stängel	Samen	Abgestorbenes Pflanzenmaterial
18.08.05	-S	30	1	17,10	42,85	0,50	4,96
			2	28,51	66,33	0,17	6,09
			3	21,26	40,88	0,80	0,95
	+S	30	1	11,12	30,53	0,53	6,10
			2	11,11	33,35		11,90
			3	19,25	55,76	0,60	11,60
	-S	60	1	40,73	93,41	0,53	3,43
			2	44,75	109,13	5,32	0,00
			3	38,99	102,16	2,02	15,18
	+S	60	1	43,54	96,41	0,47	17,13
			2	19,27	28,32	0,00	0,00
			3	14,31	34,72	0,68	4,78
01.09.05	-S	30	1	55,58	94,26	16,15	
			2	45,52	61,23	16,27	
			3	42,61	69,25	15,73	
	+S	30	1	75,02	132,91	15,52	
			2	84,11	165,87	15,22	
			3	91,55	281,13	17,96	
	-S	60	1	119,35	293,68	19,64	
			2	71,19	252,18		
			3	76,12	261,16	18,85	
	+S	60	1	57,64	155,24	15,66	
			2	53,19	84,66	15,47	
			3	44,19	61,62	15,00	

Tab. A 15: GTL-Gehalte von Pflanzenorganen des Klon FL37 (Versuchsjahr 2005, TS 40 °C).

Klon FL37			GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]					
Datum	Schwefelversorgung	Pflanzabstand [cm]	Wdh.	Blatt	Stängel	Samen	Knospe	Blüte
09.06.05	ohne Düngung	30	1	29,7	31,3			
			2	44,9	31,9			
			3	39,6	34,5			
			4	55,9	57,5			
23.06.05	-S	30	1	25,0	8,3			
			2	28,4	16,0			
			3	29,1	7,3			
	+S	30	1	20,9	10,0			
			2	21,0	19,0			
			3	21,2	9,0			
07.07.05	-S	30	1	10,6	7,6	62,2	63,4	22,4
			2	13,3		75,9	66,4	46,1
			3			77,0	66,7	
	+S	30	1	19,0	9,2	65,6	60,2	34,2
			2	14,9	10,5	68,8	57,4	38,1
			3	12,4	9,6	62,3	74,5	45,9
	-S	30	1	26,3	10,6	86,5	76,5	52,7
			2	25,0	15,7	80,7	64,9	21,2
			3	17,6	23,3	75,2	80,5	42,6
21.07.05	+S	30	1	29,1	15,5	61,0	68,7	28,6
			2	25,7	14,6	65,5	65,0	33,7
			3	30,7	9,4	76,0	60,7	35,1
	-S	30	1	25,9	12,3	65,1		
			2	11,5	6,1	68,9		
			3	15,8	4,4	66,7		
	+S	30	1	30,4	16,4	53,3		
			2	19,7	10,7	58,2		
			3	22,9	11,5	79,4		
18.08.05	-S	30	1	24,6	8,1	60,2		
			2	25,3	2,5	65,9		
			3	32,4	8,6	51,1		
	+S	30	1	46,3	11,4	41,4		
			2	35,4	15,2	62,7		
			3	41,8	11,3	53,6		
	-S	30	1	33,0	5,5			
			2	27,1	3,2			
			3	36,7	11,3	68,0		
01.09.05	+S	30	1	45,8	13,9	79,4		
			2	57,1	9,1	70,5		
			3	59,6	18,2	83,9		

Tab. A 16: GTL-Gehalte von Pflanzenorganen des Klons BG8 (Versuchsjahr 2005, TS 40 °C).

Klon BG8			GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]					
Datum	Schwefelversorgung	Pflanzabstand [cm]	Wdh.	Blatt	Stängel	Samen	Knospe	Blüte
09.06.05	ohne Düngung	30	1	54,7	29,4			
			2	48,1	36,9			
			3	51,0	35,5			
			4	39,5	41,1			
23.06.05	-S	30	1	23,5	9,8			
			2	29,5	12,4			
			3	29,0	10,3			
	+S	30	1	25,6	26,3			
			2	30,3	7,0			
			3	27,6	8,3			
07.07.05	-S	30	1	14,8	3,9		89,6	59,4
			2	16,8	12,9	103,0	98,1	48,1
			3	18,9	12,3	80,5	80,0	43,8
	+S	30	1	24,4	11,1	84,5	95,2	49,9
			2	16,1	15,2	106,4	102,6	56,4
			3		16,4	96,8	94,8	55,7
21.07.05	-S	30	1	39,3	20,2	81,2	39,9	33,8
			2	22,5	14,8	78,8	59,9	23,2
			3	23,6	10,3	69,3	62,1	22,2
	+S	30	1	26,2	15,9	77,0	65,2	44,1
			2	34,9	13,6	73,3	53,4	28,1
			3	22,2	15,2	74,5	65,9	20,8
04.08.05	-S	30	1	25,9	8,0	84,0		
			2	29,7	11,9	85,4		
			3	21,6	8,0	82,2		
	+S	30	1	36,3	15,6	76,8		
			2	24,0	10,4	69,2		
			3	29,9	11,1	87,1		
18.08.05	-S	30	1	26,8	8,0	77,0		
			2	15,5	6,2	57,5		
			3	47,0	10,9	69,2		
	+S	30	1	51,2	12,7	89,3		
			2	44,3	5,1	93,9		
			3	47,9	9,8	86,5		
01.09.05	-S	30	1	71,6	14,4	80,9		
			2					
			3	55,0	30,2	92,1		
	+S	30	1	20,4	4,0	74,6		
			2	17,4	7,4	68,4		
			3	19,4	10,0	75,2		

Tab. A 17: GTL-Gehalte von Pflanzenorganen des Klon BG26 (Versuchsjahr 2005, TS 40 °C).

Klon BG26			GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]					
Datum	Schwefelversorgung	Pflanzenabstand [cm]	Wdh.	Blatt	Stängel	Samen	Knospe	Blüte
09.06.05	ohne Düngung	30	1	32,8	35,5			
			2	49,3	40,4			
			3	46,1	29,8			
			4	40,0	30,7			
23.06.05	-S	30	1	31,9	16,1			
			2	33,1	19,3			
			3	26,4	18,0			
	+S	30	1	27,0	17,6			
			2	31,3	25,3			
			3	29,7	8,1			
07.07.05	-S	30	1	26,8	12,2	50,9	50,8	38,5
			2	25,0	9,7	59,1	56,1	36,6
			3	20,8	11,3	58,7	53,8	34,3
	+S	30	1	31,7	21,3	65,6	68,0	45,7
			2	23,2	8,7	34,4	63,4	29,2
			3	34,6	13,5	47,8	61,6	30,6
21.07.05	-S	30	1	32,9	20,6	62,4	56,8	16,0
			2	23,6	18,2	59,3	48,8	19,7
			3	25,6	18,2	59,8	39,5	22,2
	+S	30	1	20,8	9,9	66,6	50,3	11,9
			2	25,4	12,4	75,1	47,2	23,5
			3	21,6	16,3	56,6	47,9	28,6
04.08.05	-S	30	1	15,9	3,8	65,4		
			2	13,4	8,1	78,9		
			3	14,0	4,1	61,8		
	+S	30	1	15,8	7,5	86,5		
			2	29,1	4,7	82,5		
			3	17,7	5,7	80,2		
18.08.05	-S	30	1	43,3	5,8	76,9		
			2	33,0	6,2	52,8		
			3	31,1	3,2	56,7		
	+S	30	1	40,4	8,2	61,7		
			2	49,8	12,1	80,8		
			3	53,6	3,6	69,1		
01.09.05	-S	30	1	56,9	8,7	80,0		
			2	35,5	6,7	90,9		
			3	26,2	6,7	74,2		
	+S	30	1	27,9	7,9	82,5		
			2	36,2	6,2	81,4		
			3	28,3	5,6	72,6		

Tab. A 18: GTL-Gehalte von Pflanzenorganen der in zwei Abständen gesäten Saatmischung (Versuchsjahr 2005, TS 40 °C).

Saatmischung			GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]					
Datum	Schwefelversorgung	Pflanzabstand [cm]	Wdh.	Blatt	Stängel	Samen	Knospe	Blüte
23.06.05	-S	30	1	44,8	63,4			
			2	36,5	50,7			
			3	50,3	45,0			
	+S		1	50,1	58,6			
			2	58,9	62,3			
			3	44,8	74,3			
	-S	60	1	38,4	69,3			
			2	57,5	56,1			
			3	46,9	57,6			
	+S		1	41,5	53,8			
			2	55,6	38,6			
			3	37,5	69,4			
07.07.05	-S	30	1	35,5	7,6			
			2	22,7	4,4			
			3	34,7	11,2			
	+S		1	12,8	6,9			
			2	19,4	6,5			
			3	11,9	3,9			
	-S	60	1	26,2	6,9			
			2	32,0	10,5			
			3	32,5	17,3			
11.07.05	+S	60	1	34,6	5,6			
			2	33,9	5,1			
			3	34,5	4,3			
21.07.05	-S	30	1	31,9			85,5	
			2	31,8	13,7		55,6	
			3	40,8	13,9		69,7	
	+S		1	32,4	13,9			
			2	43,5	19,8		92,9	
			3	23,2	8,8		71,7	
	-S	60	1	40,5	19,3		71,0	
			2	40,8	15,5			
			3	28,0	22,7		76,8	
	+S		1	26,0	26,9		98,1	
			2	59,2	31,6		95,9	
			3	39,7	25,7			

Fortsetzung von Tab. A 18: GTL-Gehalte von Pflanzenorganen der in zwei Abständen gesäten Saatmischung (Versuchsjahr 2005, TS 40 °C).

Saatmischung				GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]				
Datum	Schwefelversorgung	Pflanzabstand [cm]	Wdh.	Blatt	Stängel	Samen	Knospe	Blüte
04.08.05	-S	30	1	24,2	12,2	84,5		
			2	27,9	12,0	91,0		
			3	20,5	9,7			
	+S	30	1	17,8	5,2	82,6		
			2	17,1	11,6			
			3	20,1	11,9			
	-S	60	1	18,0	6,2	89,6		
			2	24,7	8,3	56,7		
			3	14,4	6,2	79,9		
18.08.05	+S	60	1	11,7	8,8			
			2	10,8	4,6			
			3	17,2	7,1			
	-S	30	1	51,6	17,7	86,6		
			2	47,7	13,1	94,8		
			3	37,4	14,3	100,0		
	+S	30	1	37,8	7,4	63,9		
			2	28,4	4,8			
			3	53,6	17,2	78,6		
01.09.05	-S	60	1	59,6	13,4	71,9		
			2	51,5	3,7	86,3		
			3	37,3	10,5	76,8		
	+S	60	1	33,5	9,0	67,1		
			2	42,6	10,0			
			3	44,8	16,6	45,9		
	-S	30	1	15,0	5,0	24,6		
			2	16,0	6,2	2,9		
			3	21,0	11,7	6,0		
	+S	30	1	10,9	10,2	81,3		
			2	11,4	1,3	83,6		
			3	10,1	6,7	47,6		
	-S	60	1	19,4	5,3	43,0		
			2	19,7	6,4			
			3	16,6	3,2	36,5		
	+S	60	1	7,2	3,5	14,1		
			2	7,5	2,5	19,3		
			3	19,0	3,3	1,6		

Tab. A 19: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern und -samen der Pflanzenklone (06.09.2005, TS 40 °C).

Klon	Schwefelversorgung	Pflanzabstand [cm]	Wdh.	GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]	
				Blatt	Samen
Klon FL31	-S	30	1	53,3	78,3
			2	55,6	74,9
			3	55,4	72,8
	+S	30	1	63,8	75,1
			2	56,5	87,2
			3	44,6	94,7
Klon FL37	-S	30	1	37,6	84,4
			2	34,0	86,7
			3	41,5	81,4
	+S	30	1	45,2	95,2
			2	58,8	95,6
			3	44,9	92,2
Klon BG8	-S	30	1	27,3	67,8
			2	26,7	60,6
			3	36,0	74,2
	+S	30	1	47,3	93,2
			2	39,1	75,9
			3	34,4	88,7
Klon BG26	-S	30	1	37,5	81,4
			2	35,8	99,4
			3	26,1	94,2
	+S	30	1	68,8	99,1
			2	48,9	105,5
			3	50,6	96,7
Saatmischung	-S	30	1	52,2	80,9
			2	50,2	60,9
			3	46,5	68,5
	+S	30	1	39,7	112,3
			2	25,3	97,4
			3	40,1	97,1
	-S	60	1	52,9	94,6
			2	51,7	107,8
			3	56,9	99,9
	+S	60	1	56,9	79,3
			2	49,6	86,6
			3	52,6	94,9

Tab. A 20: Trockenmassezunahme im Verlauf der Vegetationsperiode (Versuchsjahr 2006). In der Tabelle sind Beprobungstermin, Pflanzabstand und Trockenmassen der Pflanzenteile aufgeführt. Es wurde der Klon FL37 beprobt, alle Parzellen waren ausreichend mit Schwefel versorgt.

Datum	Klon FL37		Wdh.	Trockenmasse [g]					Abgestorbenes Pflanzenmaterial
	Schwefelversorgung	Pflanzabstand [cm]		Blatt	Stängel	Samen	Knospe	Blüte	
05.07.06	+S	30	1	7,90	6,25	0,00	0,03	0,00	
			2	7,09	5,22	0,22	0,15	0,06	
			3	10,17	7,65	0,00	0,10	0,07	
			4	6,38	5,45	0,74	0,87	0,00	
	+S	60	1	8,33	6,52	-	0,06	0,06	
			2	12,13	10,54	-	0,08	0,04	
			3	7,30	4,62	-	0,10	0,00	
			4	7,31	3,90	-	0,06	0,00	
27.07.06	+S	30	1	11,37	24,43	0,12	0,00	0,38	9,90
			2	19,37	33,16	1,11	0,02	0,74	7,53
			3	11,42	20,74	0,40	0,00	0,29	7,00
			4	11,98	21,69	0,64	0,03	0,34	4,21
	+S	60	1	24,47	43,38	0,06	0,02	0,37	6,46
			2	25,13	39,48	0,47	0,16	1,28	5,85
			3	26,02	38,34	0,00	0,02	0,04	7,43
			4	27,33	39,86	0,00	0,00	0,06	4,79
08.08.06	+S	30	1	10,68	17,10	-	-	-	7,12
			2	13,13	29,94	-	-	-	8,32
			3	15,32	32,66	-	-	-	12,24
			4	13,71	27,83	-	-	-	8,19
	+S	60	1	46,66	31,65	0,00	-	-	8,20
			2	31,56	74,74	0,00	-	-	15,43
			3	41,45	88,70	0,13	-	-	19,62
			4	33,82	66,47	0,00	-	-	11,53
05.09.06	+S	30	1	8,02	10,87	-	-	-	3,99
			2	15,37	38,31	-	-	-	15,54
			3	15,28	37,44	-	-	-	15,97
			4	14,36	34,09	-	-	-	12,48
	+S	60	1	47,78	155,36	-	-	-	27,35
			2	29,23	84,34	-	-	-	9,28
			3	36,26	80,98	-	-	-	24,92
			4	28,81	85,31	-	-	-	19,90
12.09.06	+S	30	1	20,59	59,41	-	0,05	0,00	16,56
			2	14,67	43,43	-	0,00	0,00	18,64
			3	12,62	60,61	-	0,30	0,02	16,58
			4	6,72	22,23	-	0,02	0,00	8,84
	+S	60	1	35,56	110,43	-	0,00	0,04	48,03
			2	66,97	165,12	-	0,39	0,08	31,46
			3	41,14	93,96	-	0,05	-	27,44
			4	39,71	88,36	-	0,08	0,02	31,57

Tab. A 21: Glucotropaeolinegehalte (Versuchsjahr 2006, TS 40 °C).

Klon FL37		Pflanzabstand [cm]	Wdh.	GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]				
Datum	Schwefelversorgung			Blatt	Stängel	Samen	Knospe	Blüte
05.07.06	+S	30	1	12,3	9,8	-	-	-
			2	15,2	7,7	-	-	-
			3	11,9	9,9	-	-	-
			4	14,4	13,0	-	-	-
	+S	60	1	14,5	8,6	-	-	-
			2	8,4	4,9	-	-	-
			3	14,2	7,2	-	-	-
			4	30,4	8,0	-	-	-
27.07.06	+S	30	1	22,6	8,4	-	-	-
			2	15,6	11,2	-	-	14,9
			3	31,3	11,6	-	-	-
			4	40,2	15,1	74,4	-	-
	+S	60	1	27,6	7,3	-	-	-
			2	28,3	7,2	-	52,9	22,8
			3	27,2	6,0	-	-	-
			4	28,2	8,9	-	-	-
08.08.06	+S	30	1	54,6	26,1	-	-	-
			2	43,2	14,4	-	-	-
			3	42,2	24,7	-	-	-
			4	37,4	18,7	-	-	-
	+S	60	1	32,2	14,1	-	-	-
			2	27,0	18,7	-	-	-
			3	25,7	20,1	-	-	-
			4	33,7	22,9	-	-	-
05.09.06	+S	30	1	43,9	11,3	-	-	-
			2	28,0	9,5	-	-	-
			3	27,2	10,0	-	-	-
			4	26,7	14,2	-	-	-
	+S	60	1	14,6	10,6	-	-	-
			2	35,5	23,9	-	-	-
			3	21,3	12,4	-	-	-
			4	22,9	17,4	-	-	-
12.09.06	+S	30	1	22,4	8,5	-	96,1	-
			2	16,7	10,2	-	-	-
			3	56,0	34,6	-	101,1	-
			4	72,6	15,4	-	-	-
	+S	60	1	25,7	14,8	-	89,6	-
			2	25,8	10,2	-	112,2	-
			3	7,8	18,6	-	110,0	-
			4	23,3	20,9	-	88,4	-

Tab. A 22: GTL-Gehalt in kleinen und großen Kapuzinerkresseblättern (BG8, 30 cm, +S, 03.08.06, TS 40 °C)

GTL-Gehalt [$\mu\text{mol} / \text{g TM}$]			GTL-Gehalt [$\mu\text{mol} / \text{g TM}$]		
Wdh.	große Blätter	kleine Blätter	Wdh.	große Blätter	kleine Blätter
1	57,7	55,3	51	33,7	44,4
2	44,7	51,7	52	26,7	24,9
3	42,7	53,2	53	53,0	57,4
4	57,7	60,9	54	51,1	83,6
5	54,4	59,6	55	51,8	61,1
6	50,9	50,0	56	62,6	70,4
7	57,1	66,2	57	59,4	72,0
8	61,4	67,5	58	66,7	73,6
9	48,5	61,1	59	55,4	83,8
10	48,0	58,1	60	57,4	105,1
11	44,3	50,5	61	46,9	108,7
12	32,6	68,9	62	64,9	87,5
13	45,6	55,6	63	63,4	66,1
14	53,1	42,1	64	44,3	70,7
15	44,7	53,3	65	41,8	68,9
16	48,2	50,6	66	59,0	83,1
17	44,6	2,1	67	47,4	88,4
18	40,7	57,4	68	34,7	47,9
19	60,4	68,1	69	45,0	53,6
20	49,1	63,1	70	48,4	66,3
21	59,2	74,5	71	57,7	80,4
22	47,1	93,8	72	53,5	78,8
23	58,3	55,6	73	55,6	85,5
24	70,9	88,9	74	22,6	72,6
25	78,2	41,3	75	52,0	62,0
26	58,4	65,8	76	45,7	70,7
27	60,9	71,7	77	46,2	89,3
28	26,8	29,4	78	50,8	89,1
29	44,8	56,3	79	55,6	81,2
30	45,4	63,8	80	66,3	91,3
31	58,7	1,3	81	60,6	101,4
32	61,1	77,7	82	63,7	75,1
33	47,2	46,6	83	72,2	86,4
34	59,6	1,7	84	53,6	74,7
35	55,0	3,9	85	45,6	61,9
36	58,1	36,6	86	52,1	76,6
37	0,4	12,8	87	57,2	78,9
38	70,8	1,8	88	61,8	39,6
39	105,4	64,2	89	52,3	93,1
40	75,8	64,0	90	75,2	38,2
41	93,4	87,9	91	65,0	85,2
42	78,7	91,5	92	60,8	83,9
43	72,6	96,5	93	58,1	98,6
44	80,1	80,5	94	57,3	70,4
45	95,3	65,7	95	78,3	92,6
46	82,9	81,7	96	51,3	65,4
47	75,5	88,0	97	88,1	71,6
48	60,9	75,5	98	56,6	82,8
49	38,6	43,2	99	54,6	72,3
50	61,0	43,6	100	46,5	65,4
Mittelwert				56,0	65,3

Tab. A 23: GTL-Gehalte von Kapuzinerkresseblättern der Trocknungstechniken: Trockenschrank (Frischluff, 40 °C, Trocknungsdauer 5 Tage), Gefriertrocknung (GF, Trocknungsdauer 3 - 5 Tage) und Mikrowellenvakuumtrocknung (MWVT, Trocknungsdauer 2 h).

Datum		GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]		
		TS	GF	MWVT
22.08.06	9 Uhr	34,1	9,6	3,5
	11 Uhr	44,8	17,4	3,8
	13 Uhr	41,3	22,8	3,1
	15 Uhr	39,3	13,9	3,3
23.08.06	9 Uhr	32,2	15,5	-
	11 Uhr	28,2	29,9	-
	13 Uhr	25,2	0,9	-
	15 Uhr	27,7	10,2	-
24.08.06	9 Uhr	16,8	25,9	4,4
	11 Uhr	24,2	8,0	4,5
	13 Uhr	17,4	11,4	4,9
	15 Uhr	10,3	11,5	5,5
Mittelwert:		28,5	14,8	4,1

Tab. A 24: GTL-Gehalte unterschiedlicher Probengrößen und Trocknungstemperaturen (FL37, + S).

Datum	Trocknungs- temperatur [°C]	Pflanzabstand [cm]	Wdh.	GTL		Trocknungs- dauer [d]
				10 Blätter [$\mu\text{mol/g TM}$]	80 Blätter [$\mu\text{mol/g TM}$]	
18.07.06	30	30	1	29,9	33,5	10
			2	36,6	35,4	
			3	36,2	35,3	
			4	38,7	37,9	
	40	30	1	36,9	29,8	5
			2	31,7	16,3	
			3	37,4	34,7	
			4	28,6	38,4	
	50	30	1	1,5	1,0	2
			2	1,1	0,8	
			3	1,2	0,8	
			4	1,3	1,6	
	70	30	1	0,9	0,8	1
			2	0,9	0,7	
			3	0,9	0,7	
			4	0,8	0,9	

Tab. A 25: GTL-Gehalte und GABA-Gehalte der Kapuzinerkresseblätter, die bei verschiedenen Temperaturen getrocknet wurden (+ S, 30 cm)

Datum	Trocknungs- temperatur [°C]	Trocknungs- dauer [d]	Wdh.	GTL-Gehalt [µmol/g TM]	GABA-Gehalt [mg/kg]
05.07.06	30	10	1	47,8	647,5
			2	50,9	602,4
			3	55,5	
			4	51,1	
	40	5	1	39,0	349,0
			2	27,7	327,2
			3	31,9	
			4	29,8	
	50	2	1	4,2	736,3
			2	12,6	707,3
			3	12,1	
			4	5,7	
	60	1	1	12,3	629,9
			2	8,2	713,3
			3	8,5	
			4	6,1	
	70	1	1	1,3	302,8
			2	0,7	267,2
			3	0,4	
			4	0,6	
	80	1	1	0,9	96,2
			2	4,0	89,0
			3	1,2	
			4	1,5	

Tab. A 26: GTL-Gehalte und GABA-Gehalte von mit verschiedenen Techniken getrockneten Kapuzinerkresseblättern.

Trocknungstechnik	GTL [µmol/g TM]	GABA-Gehalt [mg/kg]
TS	39,0	349,0
	27,7	327,2
	31,9	
	29,8	
GF	28,9	10,7
	25,2	216,7
	23,2	33,1

Tab. A 27: GTL-Gehalte der Extrakte nach der Extraktion am Rotationsverdampfer

Datum	Bezeichnung	Pflanzen- material	Einwaage [g]	Extraktionsmittel	V [ml]	VH ₂ O [ml]	GTL-Gehalt [μmol/g TM]
22.08.06	Extrakt I	Blatt	6	Methanol	183	60	127,8
23.08.06	Extrakt II	Blatt	6	Methanol	172	95	103,6
24.08.06	Extrakt IV	Blatt	6	Methanol	172	95	104,3
25.08.06	Extrakt III	Samen	6	Ethanol (96 %)	180	95	533,6

Tab. A 28: Blattflächenbestimmung (Versuchsjahr 2005)

Schwefel- versorgung	Blatt FM [g]	TM [g]	Blattfläche [cm ²]	Schwefel- versorgung	Blatt FM [g]	TM [g]	Blattfläche [cm ²]
- S	1,10	0,25	77,29	+ S	0,36	0,07	22,06
	1,94	0,62	98,71		0,27	0,07	18,68
	1,06	0,26	72,79		0,42	0,09	33,33
	1,14	0,31	88,57		0,42	0,08	26,57
	1,48	0,35	80,68		0,39	0,08	26,57
	1,08	0,27	70,53		0,46	0,11	28,82
	0,60	0,13	43,48		0,59	0,18	35,58
	1,28	0,33	69,40		1,82	0,18	51,37
	0,82	0,19	62,64		1,33	0,27	77,29
	0,93	0,27	62,64		1,39	0,41	80,68
	1,05	0,27	70,53		1,52	0,34	93,08
	1,33	0,35	68,28		1,07	0,23	59,26
	0,98	0,23	68,28		0,52	0,11	35,58
	0,54	0,09	43,48		0,71	0,14	49,11
	0,57	0,11	41,22		0,78	0,15	47,98
	0,49	0,11	34,46		1,28	0,34	64,89
	0,34	0,07	28,82		1,03	0,24	60,39
	0,65	0,14	42,35				
	0,74	0,20	43,48				
	0,31	0,06	19,80				
	0,70	0,15	51,37				
	0,82	0,42	113,37				
	0,53	0,13	43,48				
	0,39	0,08	26,57				
	0,36	0,07	24,31				
	0,41	0,09	27,69				
	0,39	0,07	31,08				
	0,40	0,08	28,82				
	0,42	0,08	24,31				
	0,37	0,07	29,95				

Tab. A 29: Blattflächenbestimmung (Versuchsjahr 2006)

Blatt				Blatt			
Einteilung	FM [g]	TM [g]	Blattfläche [cm ²]	Einteilung	FM [g]	TM [g]	Blattfläche [cm ²]
klein	0,06	0,01	3,23	mittel	0,30	0,06	18,80
klein	0,09	0,03	3,03	mittel	0,29	0,06	16,08
klein	0,08	0,01	4,56	mittel	0,25	0,04	15,26
klein	0,07	0,01	3,19	mittel	0,30	0,06	19,86
klein	0,12	0,03	5,79	mittel	0,34	0,06	19,34
klein	0,15	0,03	7,49	mittel	0,25	0,04	14,20
klein	0,11	0,02	6,17	mittel	0,20	0,02	12,57
klein	0,11	0,02	5,49	mittel	0,37	0,07	23,18
klein	0,13	0,02	7,10	groß	1,32	0,30	74,01
klein	0,10	0,02	4,75	groß	0,84	0,19	48,17
klein	0,07	0,03	2,93	groß	1,42	0,30	77,66
klein	0,09	0,03	4,40	groß	1,39	0,29	76,52
klein	0,08	0,01	4,01	groß	1,62	0,33	83,63
klein	0,10	0,03	4,70	groß	0,93	0,18	57,10
klein	0,08	0,01	4,38	groß	0,92	0,19	49,70
klein	0,04	0,00	2,53	groß	1,08	0,22	65,42
klein	0,08	0,01	4,78	groß	1,39	0,29	73,71
klein	0,11	0,02	5,68	groß	1,18	0,25	64,57
klein	0,11	0,01	5,85	groß	1,19	0,21	71,07
klein	0,09	0,01	3,94	groß	1,58	0,31	83,02
klein	0,14	0,01	8,60	groß	1,75	0,38	94,45
klein	0,13	0,02	6,35	groß	1,70	0,36	96,05
klein	0,12	0,02	6,32	groß	1,65	0,30	71,84
klein	0,10	0,02	4,57	groß	1,37	0,30	73,44
klein	0,12	0,02	5,96	groß	1,68	0,36	85,49
klein	0,10	0,01	5,43	groß	1,31	0,28	68,57
klein	0,08	0,01	3,47	groß	1,35	0,29	68,73
klein	0,11	0,02	5,46	groß	1,20	0,24	64,43
klein	0,13	0,02	6,66	groß	1,00	0,21	59,57
klein	0,08	0,01	4,28	groß	1,44	0,28	71,44
mittel	0,33	0,05	20,14	groß	1,18	0,23	61,59
mittel	0,28	0,05	17,05	groß	1,82	0,40	101,13
mittel	0,49	0,08	25,39	groß	1,26	0,27	72,59
mittel	0,30	0,05	19,06	groß	1,31	0,27	77,22
mittel	0,21	0,03	13,69	groß	1,23	0,26	60,68
mittel	0,30	0,03	20,44	groß	0,86	0,20	48,48
mittel	0,47	0,09	30,00	groß	1,44	0,32	80,51
mittel	0,43	0,08	25,42	groß	1,35	0,29	67,36
mittel	0,32	0,06	21,19				
mittel	0,39	0,07	20,06				
mittel	0,40	0,07	23,16				
mittel	0,25	0,05	15,02				
mittel	0,38	0,08	22,82				
mittel	0,28	0,05	18,63				
mittel	0,25	0,04	14,62				
mittel	0,38	0,06	21,87				
mittel	0,31	0,05	17,89				
mittel	0,23	0,04	13,40				
mittel	0,22	0,03	14,17				
mittel	0,30	0,06	20,75				
mittel	0,24	0,04	15,76				
mittel	0,31	0,05	19,88				

Tab. A 30: GTL-Abbau in den Kapuzinerkresseblättern während der Lagerung zwischen Ernte und Trocknung

Lagerungszeit [h]	2005		2006	
	GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]		GTL-Gehalt [$\mu\text{mol/g TM}$]	
	unbeschädigt		beschädigt	unbeschädigt
	- S	+ S		
0,5	45,5	55,3	22,5	36,2
0,5			18,4	36,2
0,5			20,2	37,5
0,5			32,3	38,6
1	30,2	60,0	4,8	46,3
1			3,2	54,5
1			3,1	49,4
1			20,8	45,4
2	38,6	40,5	28,2	46,7
2			35,7	41,9
2			14,8	29,9
2			9,2	39,0
3	41,5	65,6	16,4	36,9
3			7,4	36,8
3			3,1	40,2
3			5,7	39,8
4	34,6	56,2	2,8	44,3
4			16,9	51,7
4			0,3	41,3
4			6,8	41,6
5	33,3	58,4	2,4	33,6
5			4,2	41,1
5			8,8	35,3
5			0,5	42,5
6	39,6	56,1	3,8	47,6
6			2,8	45,0
6			6,4	49,7
6			2,4	44,9
7	38,2	58,1		
8	44,2	61,1		

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei allen bedanken, die durch Ratschläge, Diskussionen und Kritik diese Arbeit unterstützt haben. Ein besonderer Dank gilt folgenden Personen und Einrichtungen:

Herrn Prof. Dr. Dr. Ewald Schnug danke ich für die Überlassung des Themas und die fachlichen Diskussionen, außerdem für die Möglichkeit das Institut de Chimie Organique et Analytique der Université d'Orléans kennenzulernen.

Herrn Prof. Dr. Dirk Selmar danke ich für Beantragung der Projektmittel, aber vor allem dafür, dass er mit offenem Ohr und Begeisterung für Motivation sorgte.

Herrn Dr. Maik Kleinwächter, Daniela Kramer und allen aus der Abteilung angewandten Pflanzenbiologie des Instituts für Pflanzenbiologie danke ich für ihre Hilfsbereitschaft und die fachlichen Diskussionen.

Ich danke Dr. Elke Bloem und Prof. Dr. Silvia Haneklaus für die Seminare und Gespräche.

Ich danke den Projektpartnern der Firma Dreluso Pharmazeutika GmbH, Hessisch-Oldendorf, sowie der Firma Institut für Pflanzenkultur in Schnega für die gute Zusammenarbeit.

Herrn Dr. Mark Regier danke ich für die Möglichkeit die Mikrowellenvakuumtrocknung der Universität Karlsruhe zu nutzen.

Tausend Dank an alle, die mich im Labor und bei der Bearbeitung und Pflege des Versuchsfeldes unterstützt haben.

Elektromeister Donald Fiebing danke ich sehr für den Umbau des Kondenstrockners.

Ich danke Kathrin Hunstig für die Übersetzung der portugiesischen Veröffentlichungen.

Besonderer Dank gilt den fleißigen Praktikanten und Praktikantinnen, denen ich versucht habe trotz der vielen Arbeit ihre Zeit angenehm zu gestalten.

Ich bedanke mich bei Dr. Holger Lilienthal, Dr. Anja Brauer und Heike Steckel für die Pausen, die aufbauenden Worte und für das Lesen von Unfertigem.

Meiner Familie und meinem Eric danke ich vor allem anderen ganz herzlich für die geschenkte Energie und Liebe.